

**Análise das potencialidades dos processos de
transformação e valorização de resíduos verdes:
Avaliação da fitotoxicidade do composto proveniente da
compostagem de resíduos verdes na Ilha de São Miguel (Açores)**

Cristina Isabel Moniz Torres Soares

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientadores: Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda (ISA)

Doutor Carlos Alberto Soares de Vilhena d' Andrade Botelho (MUSAMI)

Júri:

Presidente: Doutora Cláudia Saramago de Carvalho Marques dos Santos Cordovil, Professora Auxiliar, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda, Professora Auxiliar, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutora Paula Maria da Luz Figueiredo de Alvarenga, Professora Auxiliar, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que me ajudaram, apoiaram e contribuíram, direta e indiretamente, para a concretização desta dissertação, o meu sincero agradecimento. Em particular agradeço:

À Professora Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda, minha professora e orientadora, pela sua compreensão, paciência, disponibilidade e amizade que sempre demonstrou desde o início e durante todo o processo.

Ao Doutor Carlos de Andrade Botelho pela imediata disponibilidade em orientar-me e acompanhar-me em todo este trabalho, cujo apoio foi fundamental para a concretização do mesmo.

À MUSAMI pela generosa e imediata cedência do composto utilizado no caso de estudo prático desta dissertação, e por toda a disponibilidade sempre demonstrada.

À Engenheira Marie-Christine Morais pelo apoio moral e pela incansável ajuda nos momentos de maior frustração e trabalho laboratorial, sem a qual não teria sido possível a realização da parte prática.

À Engenheira Joana Cristina Sengo Matos de Melo Coelho pela boa disposição que a caracteriza, palavras de apoio e disponibilidade em ajudar.

Aos meus colegas e amigos que ganhei com o mestrado em Eng.^a do Ambiente por estarem sempre do meu lado em todo o percurso académico, em especial ao André, por todo o carinho e ajuda incansável que sempre demonstrou em momentos cruciais como na fase de edição deste trabalho, à Ana, por todo o seu companheirismo, apoio e amizade ao longo dos anos, e ao Paulino e Coutinho, pela boa disposição contagiante.

Aos amigos que a Tuna Universitária Corsários dos Açores (TUCA) me deu, que fizeram com que a minha estadia em Lisboa fosse ainda mais bonita e alegre, sem os quais teria sido mais difícil suportar as saudades de casa.

Ao meu tio Luís pela preciosa ajuda e orientação prestadas sempre que necessário, tendo sido essencial na fase de pesquisa e escrita desta dissertação.

Ao meu irmão, por me fazer sempre rir, sobretudo em dias em que a motivação falta, e aos meus pais, por tudo o que sempre fizeram por mim, pelo apoio e amor incondicional e por terem sido, e continuarem a ser, essenciais na minha vida e em todo o meu percurso académico, apesar da distância geográfica. Por isso, aos meus maiores e melhores amigos, o meu muito obrigada.

A temática desta dissertação está diretamente ligada à valorização e gestão de resíduos verdes com vista à introdução de uma economia circular, de modo a contribuir para a mudança do paradigma atual de muitas sociedades que ainda seguem um modelo económico linear. Tal facto tem contribuído para a acumulação de resíduos em aterro e para o decréscimo da autossustentabilidade do planeta.

Neste trabalho, a valorização dos resíduos verdes (resíduos provenientes de podas e desflorestação, tal como folhas, galhos e semelhantes) está presente na matéria fertilizante utilizada durante o ensaio laboratorial, o SO-MUSAMI, composto orgânico proveniente da compostagem de resíduos verdes produzido no Ecoparque da Ilha de São Miguel (Açores). Foi utilizada uma planta indicadora sensível para avaliar a fitotoxicidade deste substrato, geralmente utilizado por produtores agrícolas que pretendam enriquecer os seus solos de forma mais sustentável, a *Brassica rapa ssp. pekinensis* L. (couve chinesa), segundo a Norma Europeia EN 16086-1.

Numa primeira etapa procedeu-se à caracterização do composto orgânico e da turfa utilizados como substratos no processo de envasamento do ensaio laboratorial, tendo sido avaliados os parâmetros físicos, químicos e biológicos. Após a caracterização dos substratos e da realização dos ajustes necessários, procedeu-se ao ensaio de germinação e crescimento da planta *Brassica rapa ssp. pekinensis* L. O ensaio foi dividido em três fases: (i) sementeira e germinação, (ii) crescimento e (iii) corte.

Constatou-se que o composto utilizado apresentou menos inibição na proporção 25:75 (v/v) para todas as misturas, sendo a mistura com 24 g cal/L turfa o ensaio com menor inibição à germinação e ao crescimento. Além disso, a adição do composto nas duas proporções utilizadas nas diversas misturas (25/75 e 50/50, v/v de composto/turfa) promoveu o aumento do pH e da condutividade elétrica (CE) do substrato. O aumento do pH é benéfico; contudo, o aumento da CE poderá ter efeitos menos positivos no crescimento das plantas. Também foi possível concluir que se trata de um composto de boa qualidade (composto de classe II), podendo ser utilizado na agricultura, e com elevada estabilidade, quando avaliada pelos parâmetros biológicos.

Palavras-Chave: *Brassica rapa ssp. pekinensis* L., Compostagem de Resíduos Verdes, Economia Circular, Fitotoxicidade, Gestão de Resíduos.

The thematic of this thesis is directly associated to the valorization and management of residues (in this case “green residues”), aiming to the introduction of a circular economy, and to change the current paradigm of many societies, that still use an linear economic model. This fact has contributed, not only to the accumulation of residues in landfills, but is also decreasing the self-sustainability of planet Earth.

The valorization of green residues (from pruning and deforestations, like leaves, twigs and similar) generated an organic fertilizer, named SO-MUSAMI, that was used in the laboratorial activity. The fertilizer was made through compost, at Ecopark of São Miguel Island (Azores). This type of substrate, generally used by agricultural producers in order to enrich soils, sustainably, was used to evaluate the phytotoxicity of sensitive specie, *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* L. (commonly named chinese cabbage), according to European standard EN 16086-1.

In a first phase, we proceeded to characterize the organic fertilizer and the peat, both used in the potting process. The parameters analyzed were physical, chemical and biological. After the characterization of both substrates and making the necessary adjustments, we proceeded to the germination and growth test of *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* L. The assay was divided in three steps: (i) sowing and germination, (ii) growth and (iii) cut.

The analysis of the results demonstrated that compost presented less inhibition with the ratio of 25:75, for all mixtures, and EB24 showed less inhibition to germination and growth. Furthermore, the addition of compound in two different ratios of the mixtures (25/75 and 50/50, v/v organic fertilizer/peat) promoted the increase of pH and electric conductivity from substract. The increment of this last parameter can entail negative effects during plant growth. It was also possible to conclude that it is a good quality compound (class II compound), it can be used in agriculture, and with high stability when evaluated by biological criteria.

Keywords: *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* L., Circular Economy, Green Waste Composting, Phytotoxicity, Waste Management.

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE GERAL.....	v
ÍNDICE DE QUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO-PRÁTICO.....	4
PARTE I – REVISÃO DE CONCEITOS	4
2.1. O solo	4
2.1.1. Parâmetros caracterizadores do solo.....	4
2.1.2. Principais tipos de serviços de ecossistema	7
2.1.3. Solo – Uma fonte de alimento ameaçada e em degradação	8
2.2. O processo de compostagem.....	11
2.2.1. Fases do processo de compostagem. Evolução de alguns parâmetros	14
2.2.2. Compostagem de resíduos verdes	20
2.2.3. Qualidade dos compostos.....	21
2.3. Avaliação da fitotoxicidade.....	24
2.4. Os novos paradigmas ambientais	25
2.4.1. Da economia linear à economia circular	25
2.4.2. Eco-cidades e eco-regiões.....	29
PARTE II – UM EXEMPLO DE COMPOSTAGEM NA ILHA DE SÃO MIGUEL (ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES)	31
2.5. Enquadramento geográfico e socioeconómico dos Açores	31
2.6. Políticas de gestão de resíduos	32

2.7. Estudo de caso: gestão de resíduos verdes da empresa MUSAMI	33
2.7.1. Processo de compostagem de verdes	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1. Materiais utilizados.....	40
3.2. Caracterização do composto SO-MUSAMI	42
3.2.1. Parâmetros físicos	43
3.2.2. Parâmetros químicos	44
3.2.3. Parâmetros biológicos	49
3.3. Ensaio biológico para a avaliação da fitotoxicidade do composto SO-MUSAMI segundo a norma EN 16086-1.....	50
Preparação da turfa para o ensaio biológico.....	52
i. Fase de sementeira e germinação.....	53
ii. Fase de crescimento.....	54
iii. Fase de corte da biomassa vegetal para a avaliação da fitotoxicidade do composto	55
3.4. Tratamento estatístico dos resultados.....	58
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1. Caracterização do composto utilizado no ensaio – SO-MUSAMI	59
4.2. Caracterização do ensaio de avaliação da fitotoxicidade	63
4.2.1. Escolha do ensaio de controle (branco)	63
4.2.2. Avaliação da inibição à germinação (<i>GeI</i>).....	65
4.2.3. Avaliação da inibição do crescimento (<i>GrI</i>)	66
5. CONCLUSÕES	70
○ Alcance prático dos contributos (impactos e limitações)	70
○ Desenvolvimentos futuros.....	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. – Valores máximos admissíveis de microrganismos patogénicos, de sementes e de propágulos, reportados à matéria fresca. (Fonte: DL n.º 103/2015).....	22
Quadro 2.2. – Valores máximos admissíveis para os teores totais de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe, em miligramas por quilograma de matéria seca. (Fonte: DL n.º 103/2015).....	22
Quadro 2.3. – Parâmetros analíticos usados na avaliação da qualidade dos compostos. (Adaptado de: DL n.º 103/2015)	23
Quadro 2.4. – Métodos diversos usados para avaliar a estabilidade e maturação dos compostos. (Adaptado de: Jorge, 2018).....	24
Quadro 3.1. – Rótulo do saco do composto SO-MUSAMI apresentado na Figura 3.1.	41
Quadro 3.2. – Parâmetros analisados no composto utilizado.	42
Quadro 4.1. – Resultados obtidos para alguns dos parâmetros analisados no composto SO-MUSAMI.....	59
Quadro 4.2. – Granulometria e inertes (pedras e material estranho) na amostra de composto SO-MUSAMI analisada.	60
Quadro 4.3. – Elementos minerais totais do composto SO-MUSAMI.....	61
Quadro 4.4. – Utilização da matéria fertilizante de acordo com a classe. (Fonte: DL n.º 103/2015).....	61
Quadro 4.5. – Parâmetros biológicos analisados para o composto SO-MUSAMI.	62
Quadro 4.6. – Categorias de matéria fertilizante em função do grau de maturação. (Fonte: DL n.º 103/2015).....	62
Quadro 4.7. – Valores de pH e CE obtidos para cada um dos quatro brancos utilizados.	63
Quadro 4.8. – Taxa média de germinação (AGR) e média dos pesos fresco (APW) e seco (APWS) obtidos nos ensaios de controle (brancos).....	64
Quadro 4.9. – Valores dos pesos fresco (WP) e seco (WPS), expressos em g, percentagem de matéria seca (% MS), e respetiva média, de todos os ensaios realizados.....	65
Quadro 4.10. – Misturas dos ensaios EB8, EB16 e EB24 (8, 16 e 24 g cal/L turfa) nas proporções 25:75 e 50:50 (v/v) de composto/turfa na fase de germinação.....	65
Quadro 4.11. – Misturas dos ensaios EB8, EB16 e EB24 (8, 16 e 24 g cal/L turfa) nas proporções 25:75 e 50:50 (v/v) de composto/turfa na fase de crescimento.	67
Quadro 4.12. – Valores dos parâmetros pH e CE, antes e depois do ensaio biológico, para todos os ensaios realizados. Os valores apresentados são respeitantes à média de 3 repetições.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. – Produção de resíduos (milhões de toneladas) entre 2004 e 2014. (Fonte: Eurostat, 2017).....	1
Figura 1.2. – Esquema do princípio da hierarquia dos resíduos segundo o DL n.º 73/2011...	2
Figura 2.1. – Simplificação esquemática da cadeia alimentar do solo, ilustrando alguns dos principais grupos de biota deste ecossistema. (Fonte: Nielsen <i>et al.</i> , 2015)	6
Figura 2.2. – Esquema da visão geral das principais vias diretas e indiretas através das quais os fatores de mudança global afetam as comunidades do solo e os retornos causados por essas mudanças nestas comunidades. (Fonte: Nielsen <i>et al.</i> , 2015).....	6
Figura 2.3. – Associações existentes entre os serviços de ecossistema, a saúde e outros aspetos do bem-estar humano. (Adaptado de: Corvalan <i>et al.</i> , 2005).	7
Figura 2.4. – Quantidade de pesticidas utilizados no planeta, em toneladas, (Gráfico A) e percentagem de pesticidas por continente (Gráfico B) entre 1990 e 2017. (Adaptado de: FAOSTAT, 2019).....	9
Figura 2.5. – Fatores que afetam a formação de substâncias húmicas. (Fonte: Guo <i>et al.</i> , 2019).....	12
Figura 2.6. – Influência da temperatura na taxa de geração populacional dos microrganismos psicofílicos, mesófilos e termófilos presentes no composto. (Fonte: Insam e Bertoldi, 2007)	15
Figura 2.7. – Evolução da temperatura ao longo do processo de compostagem. (Fonte: Trautmann e Krasny, 1997).....	16
Figura 2.8. – Curva teórica das necessidades em oxigénio durante a compostagem. (Fonte: Mustin, 1987)	17
Figura 2.9. – Curva teórica das principais variações de pH durante a compostagem. (Fonte: Mustin, 1987)	19
Figura 2.10. – Evolução da temperatura em função do tempo, durante o processo de compostagem, a diferentes razões C/N. (Fonte: Batista e Batista, 2007)	20
Figura 2.11. – Modelo de Economia Linear. (Fonte: Adirson Allen, 2018 in Economia Linear, Economia Circular e Blockchain).....	25
Figura 2.12. – Modelo de Economia Circular. (Fonte: Adirson Allen, 2018 in Economia Linear, Economia Circular e Blockchain).....	27

Figura 2.13. – Disposição geográfica do arquipélago dos Açores. (Fonte: https://images.app.goo.gl/qRksXXmQGpGPjpy16)	31
Figura 2.14. – Decomposição da evolução da população açoriana entre 2002 e 2017. (Fonte: DRPFE, 2018).....	32
Figura 2.15. – Ilha de São Miguel, arquipélago dos Açores. Localização aproximada dos Ecoparques I, II e III. (Adaptado de: MUSAMI, 2019)	34
Figura 2.16. – Quantidade de resíduos ¹ , em toneladas, à entrada do Ecoparque para os diferentes destinos. ¹ A partir de Fevereiro de 2017 inclui dados referentes ao concelho de Nordeste. (Adaptado de: MUSAMI, 2019)	34
Figura 2.17. – Localização do parque de compostagem de resíduos verdes (Ecoparque I). (Fonte: MUSAMI, 2019)	35
Figura 2.18. – Fase de trituração dos resíduos verdes. (Fonte: MUSAMI, 2019)	36
Figura 2.19. – Pilhas de compostagem e máquina de revolvimento em funcionamento. (Fonte: MUSAMI, 2019).....	37
Figura 2.20. – Local de depósito do composto crivado. (Fonte: MUSAMI, 2019)	38
Figura 2.21. – Boletim informativo do SO-MUSAMI. (Fonte: MUSAMI, 2019)	38
Figura 3.1. – Saco de composto SO-MUSAMI aquando da chegada ao laboratório.	40
Figura 3.2. – Saco de turfa e preparação da mesma para o ensaio.....	41
Figura 3.3. – Cronograma do ensaio biológico realizado.	51
Figura 3.4. – Representação esquemática do processo de preparação das turfas para o ensaio em branco (EB0), correspondente à caixa 0, e para os ensaios com diferentes doses de calcário dolomítico (caixas 8, 16 e 24).....	52
Figura 3.5. – Teste de germinação das sementes (A) e fase de sementeira (B).....	54
Figura 3.6. – Aspeto geral do ensaio biológico na fase de crescimento.....	55
Figura 3.7. – Fase de corte da biomassa vegetal a analisar.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

ANOVA – Análise Estatística de Variância

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AT₄ – Teste Respirométrico (atividade respiratória ao fim de 4 dias)

CE – Condutividade Elétrica

COT – Carbono Orgânico Total

DL – Decreto-Lei

DLR – Decreto Legislativo Regional

DRPFE – Direção Regional do Planeamento e Fundos Estruturais

EEA – *European Environment Agency* (Agência Europeia do Ambiente)

ENEA – Estratégia Nacional de Educação Ambiental 2020

EU – *European Union* (União Europeia)

EUROSTAT – *European Statistical Authority* (Autoridade Estatística da União Europeia)

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)

Grl – Índice de Inibição do Crescimento

Gel – Índice de Inibição à Germinação

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas)

MS – Matéria Seca

MO – Matéria Orgânica

pH – Potencial de Hidrogénio

PORDATA – Base de Dados Portugal Contemporâneo

RAA – Região Autónoma dos Açores

SE – Serviços de Ecossistema

SREA – Secretaria Regional de Estatística dos Açores

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change* (Convenção das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas), 1992

1. INTRODUÇÃO

A motivação pelo estudo da fitotoxicidade de um composto 100% constituído por resíduos verdes sobre uma planta indicadora sensível, neste caso a couve chinesa, prende-se com a importância e preocupação crescentes em arranjar alternativas na adubação dos solos mais amigas do ambiente e, por conseguinte, também mais saudáveis para o Homem.

Atualmente, muitas sociedades ainda se regem por um modelo económico linear, onde matérias-primas são recolhidas em massa com o objetivo de produzir um produto, que geralmente é utilizado e descartado após uma utilização. Felizmente tem-se vindo a alterar este paradigma, devido ao surgimento do modelo de economia circular. Este modelo prima pela preferência de energias limpas bem como pela valorização dos resíduos, os quais muitas vezes ainda têm bastante valor e potencial. Um desses exemplos de valorização é a compostagem, ou digestão aeróbia, onde substratos heterogêneos biodegradáveis são bio oxidados através da atividade de microrganismos aeróbios, e posteriormente mineralizados e parcialmente humificados, dando origem a um composto orgânico estabilizado, higienizado e com elevado potencial fertilizante (Belo, 2011).

Trata-se de uma temática de extrema importância, pois tem-se verificado um aumento da produção de resíduos associada às atividades de consumo e de produção de bens, devido ao consumismo desmedido que o Homem tem demonstrado nas últimas décadas. Na Europa, ocorreu um aumento de 2 503 milhões de toneladas de resíduos (Figura 1.1.) durante o período de 2004 a 2014 (Eurostat, 2017).

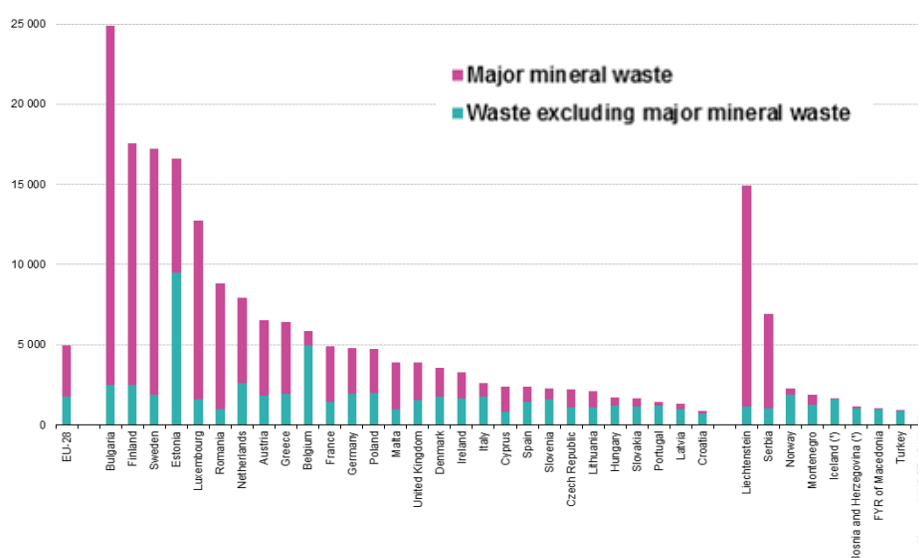


Figura 1.1. – Produção de resíduos (milhões de toneladas) entre 2004 e 2014. (Fonte: Eurostat, 2017)

Esta pressão ambiental pode sobrecarregar valiosos recursos como os solos, os alimentos que deles advêm, a água e os combustíveis fósseis. De acordo com o princípio da hierarquia dos resíduos, apresentado no Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho (Artigo 7.º), a política e a legislação em matéria de resíduos devem respeitar uma dada ordem de prioridades no que concerne às opções de prevenção e gestão de resíduos (Figura 1.2.).

Este aumento de produção, aliado a uma má gestão dos resíduos, tem levado ao decréscimo da qualidade ambiental, e tem prejudicado seriamente a sustentabilidade do planeta. Assim é urgente alterar esta mentalidade e paradigma, dando preferência à adoção de comportamentos *eco-friendly*, para que as futuras gerações e o próprio planeta não fiquem comprometidos como já acontece com tantas outras espécies.

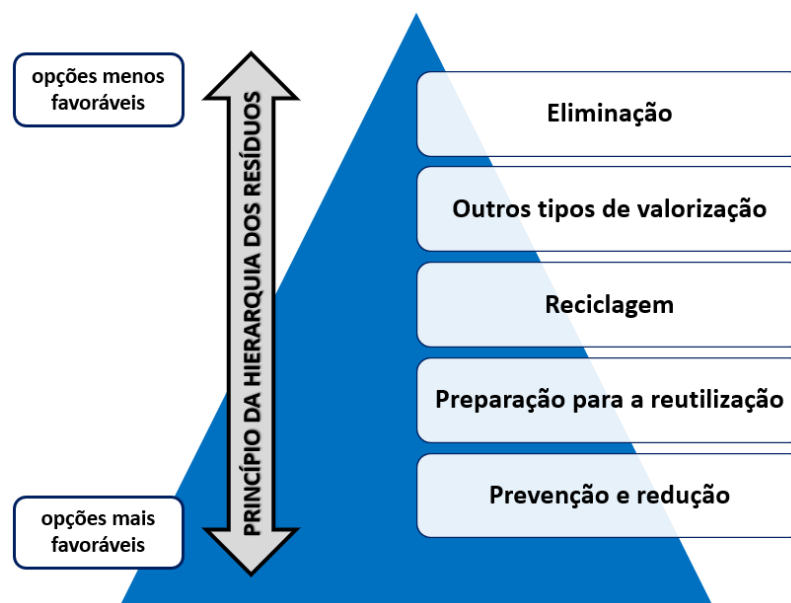


Figura 1.2. – Esquema do princípio da hierarquia dos resíduos segundo o DL n.º 73/2011.

A presente dissertação teve como principal objetivo analisar a potencial presença de substâncias com características fitotóxicas no composto obtido a partir da compostagem industrial de resíduos verdes, através da avaliação da fitotoxicidade sobre a planta indicadora *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* L., vulgarmente conhecida por couve-chinesa, resultante do uso da matéria fertilizante SO-MUSAMI. A avaliação da fitotoxicidade de um composto é muito importante, dado que permite determinar se existem no material substâncias que possam inibir a germinação de sementes, o crescimento das raízes ou o desenvolvimento das plantas (Trautmann e Krasny, 1997).

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos principais: (i) Introdução, onde se indica quais os objetivos e estrutura da dissertação; (ii) Enquadramento Teórico-Prático, o qual é, por sua vez, dividido em duas partes, a revisão de conceitos (teórico) e o exemplo industrial de compostagem de resíduos verdes na Ilha de São Miguel, nos Açores (prático); (iii) Materiais e Métodos, onde são descritos todos os métodos e procedimentos realizados; (iv) Resultados e Discussão e, ainda, (v) Conclusão.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO-PRÁTICO

PARTE I – REVISÃO DE CONCEITOS

2.1. O solo

Considerado como um dos habitats mais ricos da Terra do ponto de vista biológico por abrigar uma enorme biodiversidade por unidade de área, o solo é um componente fundamental de qualquer ecossistema terrestre (Nielsen *et al.*, 2015).

Pilar da economia, devido às inúmeras funções e serviços de elevada importância socioeconómica e ambiental que desempenha, o solo caracteriza-se por ser um recurso não renovável à escala humana, o qual tem vindo a ser sucessivamente sujeito a crescentes pressões e sobre-exploração. Por esse motivo, tem vindo a degradar-se por contaminação, impermeabilização ou erosão (APA, 2019).

Segundo a FAO o solo define-se como sendo um corpo natural constituído por camadas (horizontes do solo) compostas por materiais minerais deteriorados pelo tempo, material orgânico, ar e água. A mesma organização define o solo como o produto final da ação combinada do clima, topografia e organismos (flora e fauna) nos materiais originais (rochas e minerais) ao longo do tempo. Como resultado, o solo difere do seu material de origem na textura, estrutura, consistência, cor, características químicas, biológicas e físicas (FAO, 2019a).

2.1.1. Parâmetros caracterizadores do solo

Para caracterizar o solo, os pedólogos recorrem a diferentes noções, nomeadamente componentes do solo e propriedades do solo. Enquanto um componente do solo diz respeito à espécie biogeoquímica ou agregação de espécies biogeoquímicas que formam os solos, as propriedades do solo correspondem a qualquer componente do solo que possa ser medido e usado para comparar e/ou avaliar solos. Assim, existem quatro grupos principais de componentes do solo, nomeadamente (1) minerais, (2) orgânicos, (3) líquidos e (4) gases; por outro lado, as propriedades do solo estão divididas em três categorias: (i) propriedades físicas, (ii) propriedades químicas e (iii) propriedades biológicas, as quais dizem respeito às características físicas, químicas e biológicas, respetivamente, de um solo. (Dominati *et al.*, 2010).

As propriedades físicas estão relacionadas sobretudo com o arranjo físico das partículas sólidas e os poros, a textura e cor do solo, a sua densidade aparente e porosidade (Nortcliff, 2002), bem como compressibilidade e compacidade (Varennnes, 2003).

As propriedades químicas, tal como o nome indica, estão associadas com a composição química do solo, nomeadamente a adsorção, reação do solo (traduzida pelo pH), salinidade, potencial de oxidação-redução (redox) dos solos e concentrações de elementos químicos potencialmente tóxicos (Nortcliff, 2002). Destas, a reação do solo, indicada pelo pH, assume particular importância pois além de afetar muitos dos processos que ocorrem no solo, afeta também a mobilidade dos elementos químicos (Science Communication Unit, 2013), a qual é de extrema importância, pois pode comprometer o desenvolvimento e existência de vida na matriz do solo.

Tanto as propriedades físicas como químicas do solo influenciam o seu comportamento e o modo como deve ser gerido (Varennnes, 2003), contudo existem diferenças óbvias entre ambas.

As propriedades biológicas de um solo estão maioritariamente dependentes da atividade dos microrganismos, atuando no ciclo de nutrientes e na decomposição da matéria orgânica existente, estas propriedades podem ter um carácter dinâmico e apresentar maior sensibilidade a potenciais alterações nas condições do solo (Nortcliff, 2002).

A comunidade dos organismos do solo, ou biota, é essencial para todo um conjunto de processos-chave do sistema, tais como a decomposição, mineralização e os ciclos de nutrientes (Figura 2.1.). Além disso, a biota do solo serve de agente para o abastecimento de serviços do ecossistema, tais como a supressão de doenças e degradação da poluição através da biorremediação, formação de solo e infiltração de água, e a regulação do clima através do seu impacto nas dinâmicas de carbono. A comunidade de organismos abaixo do nível do solo tem uma ligação estreita com as comunidades da superfície através de interações tróficas e ciclos bioquímicos (Figura 2.2.), e estas interações, em última instância, governam o funcionamento do ecossistema (Nielsen *et. al*, 2015).

Na biota do solo é possível distinguir três níveis de organismos com dimensões, tipologias e funções diferenciadas: a microfauna, a mesafauna e a macrofauna (Correia e Oliveira, 2000).

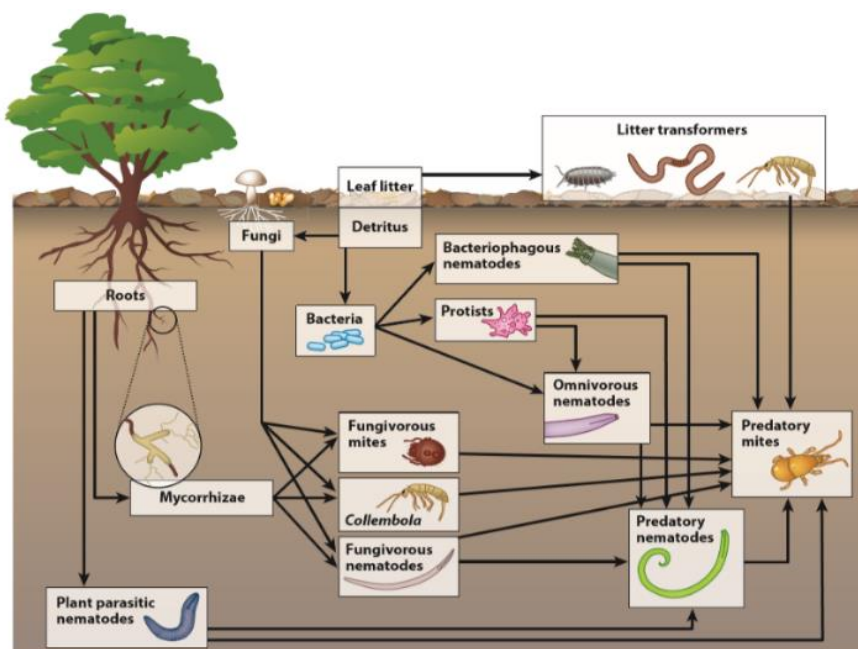


Figura 2.1. – Simplificação esquemática da cadeia alimentar do solo, ilustrando alguns dos principais grupos de biota deste ecossistema. (Fonte: Nielsen *et al.*, 2015)

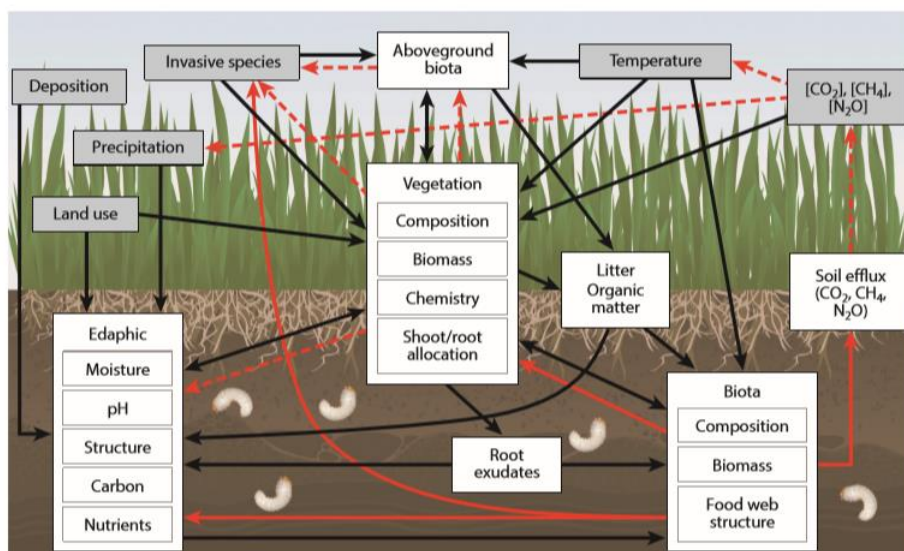


Figura 2.2. – Esquema da visão geral das principais vias diretas e indiretas através das quais os fatores de mudança global afetam as comunidades do solo e os retornos causados por essas mudanças nestas comunidades. (Fonte: Nielsen *et al.*, 2015)

2.1.2. Principais tipos de serviços de ecossistema

O conceito de serviços de ecossistema (SE) foi originalmente concebido com o intuito de quantificar os benefícios que os ecossistemas naturais proporcionam ao Homem, potenciando o seu bem-estar (Figura 2.3.). Esta ação teve como objetivo aumentar a sensibilização da humanidade para o valor da biodiversidade e conservação dos ecossistemas (Westman, 1977).

Frequentemente os solos exercem diversas funções em simultâneo, e não de forma independente, associadas a diferentes SE. Existem quatro categorias principais de SE nomeadamente (i) Suporte, (ii) Provisão, (iii) Regulação e (iv) Cultural (Reid *et al.*, 2005; Corvalan *et al.*, 2005).

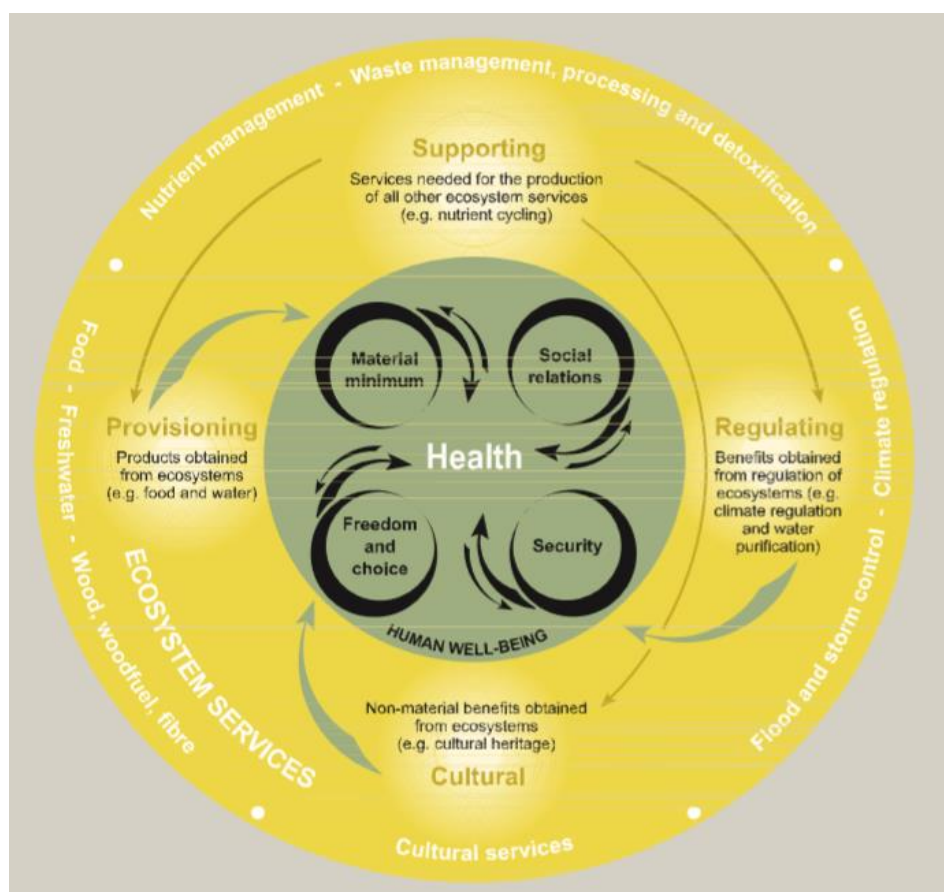


Figura 2.3. – Associações existentes entre os serviços de ecossistema, a saúde e outros aspetos do bem-estar humano. (Adaptado de: Corvalan *et al.*, 2005).

Os serviços de suporte fornecem a infraestrutura básica da vida, como o ciclo dos nutrientes ou a formação do solo. Todos os outros serviços de ecossistemas – regulação, provisionamento e cultural – dependem dele. Os seus impactos no bem-estar humano são indiretos e, na sua maioria, de longo prazo: a formação de solos, por exemplo, ocorre ao longo de décadas ou séculos. Estes serviços são fortemente interrelacionados entre si e geralmente sustentados por uma vasta gama de fatores físicos, químicos e respetivas interações (Corvalan *et al.*, 2005).

Os serviços de provisionamento como os alimentos, água e materiais de construção, são bens que podem ser extraídos de ecossistemas altamente geridos, como, por exemplo, os ecossistemas agrícolas, ou, então, de ecossistemas naturais. A provisão de bens do ecossistema é invariavelmente dependente de muitos serviços de suporte e regulação. Os serviços de provisionamento têm sido, historicamente, um dos principais focos da atividade humana e por isso estão estreitamente ligados aos serviços culturais (Reid *et al.*, 2005).

Os serviços de regulação climática, como a regulação de cheias e purificação da água, tal como acontece com os serviços de suporte, estão fortemente ligados entre si e às outras classes de serviços (Corvalan *et al.*, 2005).

Finalmente, os serviços culturais como as atividades de recreio, educação e espirituais têm origem em locais onde os seres humanos interagem entre si e com a natureza, e proporcionam bens culturais e benefícios (Reid *et al.*, 2005).

2.1.3. Solo – Uma fonte de alimento ameaçada e em degradação

Sendo o solo essencial para muitos serviços de ecossistemas e a base para a produção de alimentos, rações, combustíveis e fibras, garantir a sustentabilidade da gestão dos solos agrícolas mundiais e a intensificação da produção sustentável tornaram-se um imperativo para a segurança alimentar global (FAO, 2015).

Estima-se que as tendências demográficas atuais e o crescimento projetado na população global a uma taxa de 1,3%, o equivalente a 73 milhões de pessoas por ano, esperando-se exceder os 9 biliões até 2050, resultem num aumento de 60% na procura por alimentos, rações e fibras até 2050 (FAO, 2015). Deste modo, entre as principais preocupações globais do século XXI estão: (1) segurança alimentar devido a um rápido aumento da população mundial; (2) degradação do solo por uso incorreto da terra e má

gestão do solo; e (3) aumento antropogénico dos gases de efeito de estufa atmosféricos (Lal, 2001).

A degradação da terra e o esgotamento do solo representam uma ameaça global real e crescente e envolvem vários processos, incluindo (i) erosão pelo vento, água e lavoura, (ii) compactação e impermeabilização, (iii) desequilíbrio de nutrientes, (iv) perda de matéria orgânica do solo, (v) acidificação, (vi) salinização, (vii) poluição e (viii) uso excessivo de pesticidas. Esses processos são causados por práticas insustentáveis de gestão do solo que resultam de diversos fatores sociais, económicos e de governança (Liu *et al.*, 2017). Na Figura 2.4. é possível observar a crescente utilização de pesticidas a nível mundial, destacando os continentes asiático e americano como os mais afetados pelo uso excessivo destas substâncias.

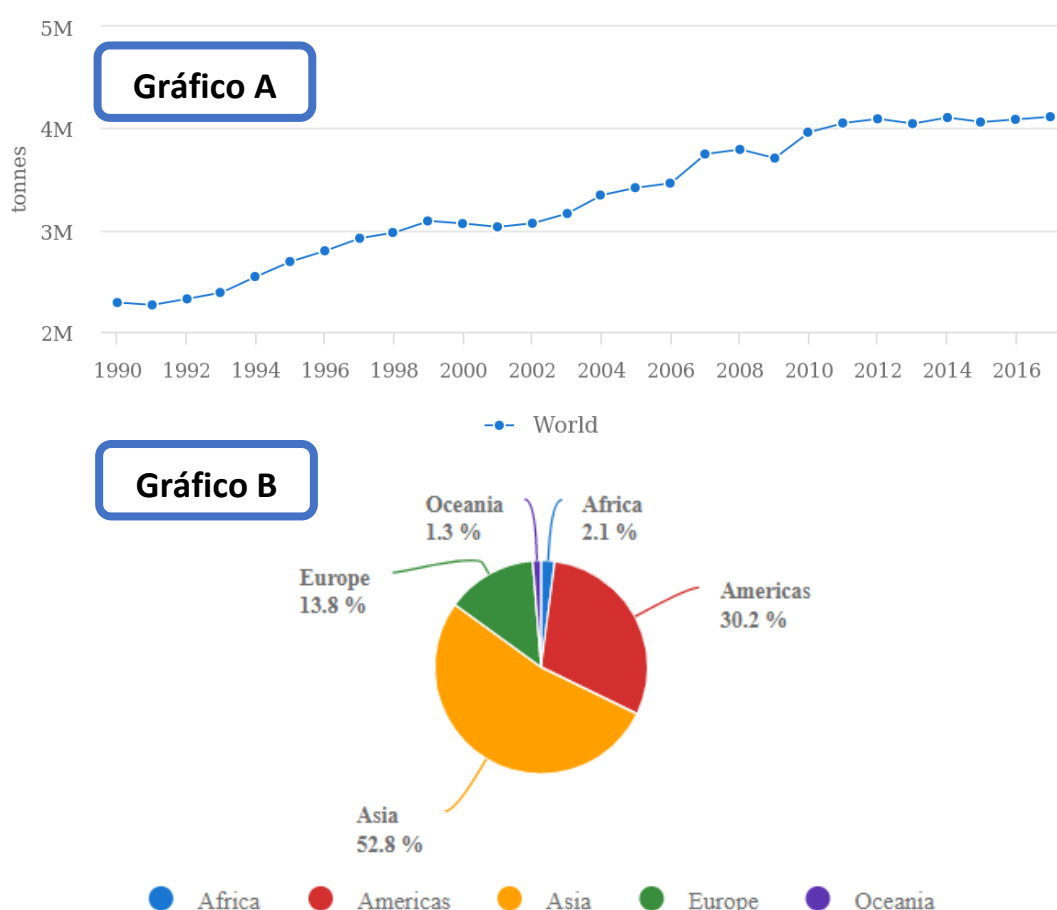


Figura 2.4. – Quantidade de pesticidas utilizados no planeta, em toneladas, (**Gráfico A**) e percentagem de pesticidas por continente (**Gráfico B**) entre 1990 e 2017. (Adaptado de: FAOSTAT, 2019)

O dano resultante ao solo afeta a subsistência, as funções do ecossistema, a segurança alimentar e o bem-estar humano. De entre os países do Sul da Europa, Portugal é o que apresenta a maior percentagem de solos com má qualidade (66%) e, ainda, o que possui maior número de solos com riscos de erosão elevados (68%) (Oliveira, 2010). Segundo a FAO cerca de 25% da terra encontra-se altamente degradada e 44% é ligeira ou moderadamente degradada devido aos processos supracitados. Esta taxa atual de degradação da terra e do solo poderá comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazerem as suas necessidades básicas, a menos que seja adotada uma nova abordagem que permita um uso do solo sustentável (FAO, 2019b).

A manutenção e o aumento da retenção do carbono orgânico na matriz do solo é um requisito básico para promover a saúde do solo, tendo em conta a importância do carbono na preservação da fertilidade do solo, propriedades físicas e atividade biológica. Assim, para que a matéria orgânica do solo aumente é necessário reduzir a intensidade com que se explora os solos (Piccolo *et al.*, 2004).

Uma forma de contrariar a degradação do solo poderá passar pela substituição de adubos químicos (“adubos cujos nutrientes declarados se apresentam na forma mineral, obtida por extração ou por processo industrial físico ou químico [...]”, Artigo 3.º do DL n.º 103/2015) por corretivos e compostos nos solos (Semple *et al.*, 2001). Segundo este mesmo decreto-lei, um composto ou compostado define-se como sendo “o produto higienizado e estabilizado, resultante da decomposição da matéria orgânica por compostagem, cujas características são, direta ou indiretamente, benéficas para o crescimento das plantas”. Na verdade, optando por fertilizantes mais amigos do ambiente no tratamento e manuseamento da terra, estará a reutilizar-se resíduos orgânicos biodegradáveis (no caso da compostagem) e a dar-lhes uma nova vida, contribuindo para o desenvolvimento de uma economia circular, a abordar adiante.

No campo de ação da degradação e remediação dos solos em Portugal e no mundo, existe, atualmente, uma grande lacuna legislativa. Contudo, foram já estabelecidas medidas na esfera política para a sua conservação, existindo instrumentos legislativos que, embora ainda em reduzido número, visam solucionar e/ou evitar as problemáticas geradas com a degradação do solo, tanto a nível nacional (de âmbito local, regional e nacional) como internacional.

Deste modo, a legislação nacional contempla um diploma relativo ao uso sustentável

do solo, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 178/2006, que inclui o Regime Geral da Gestão de Resíduos (RGGR). Neste está definido que um dano causado ao solo é “qualquer contaminação do solo que crie um risco significativo para a saúde humana, avaliada através de um processo de análise de riscos”. Além disso, prevê o licenciamento das operações de descontaminação dos solos, pelas autoridades regionais de resíduos.

Também a legislação europeia tem procurado intervir nesta problemática, tendo sido desenvolvidas estratégias semelhantes adotadas pela União Europeia, tal como a Estratégia Temática do Solo (COM (2006) 231). Esta sublinha a necessidade de evitar que os solos percam a sua capacidade de produção, salientando, portanto, a importância de um ordenamento territorial sustentável. Em 2015 foi constituído o *European Union Group on Soil Protection*, na sequência da eliminação da proposta legislativa relativa a uma diretiva-quadro do solo (COM (2006) 232) em 2014, com o objetivo de abordar e refletir junto dos Estados-Membros a melhor abordagem a ter com as questões inerentes à qualidade dos solos baseadas no risco, dentro de um quadro legal vinculativo.

Internacionalmente, foi elaborada uma resolução da Assembleia Geral das Nações Unidas intitulada “Transformar o nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” (A/RES/70/1), a qual assenta em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas a implementar em todos os países. Pressupõe, ainda, integrar os ODS nas políticas, processos e ações desenvolvidas nos planos nacional, regional e global.

2.2. O processo de compostagem

Vista como uma das tecnologias mais adequadas e atualmente utilizadas no tratamento de resíduos (orgânicos), a compostagem caracteriza-se por um processo relativamente simples com baixos custos de produção, do qual se obtém um produto final (composto) com menor massa que a inicial, higienizada e sem infestantes (Jiang *et al.*, 2011).

A compostagem trata-se de um processo de transformação aeróbia em estado sólido, mediado por microrganismos, pelo qual diferentes materiais orgânicos são transformados em compostos mais estáveis. O produto obtido é designado por composto, o qual contribui para a melhoria das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo (Sánchez *et al.*, 2017).

Para Golueke a compostagem trata-se de um processo biológico controlado no qual

ocorre a estabilização de substratos biodegradáveis, resultando um produto semelhante ao húmus, o qual pode ser utilizado como fertilizante e corretivo dos solos (Cunha Queda, 1999).

O processo biológico inerente à compostagem, transforma os materiais orgânicos num produto higienizado e rico em compostos húmicos, o composto. Este é suficientemente estável para poder ser armazenado e aplicado nos solos sem produzir quaisquer efeitos adversos ao meio ambiente (Albuquerque *et al.*, 2009).

Cunha Queda (1999) define compostagem como um processo controlado de bioxidação de substratos heterógeneos biodegradáveis, resultante da ação dos microrganismos (bactérias, actinomicetas e fungos), durante o qual ocorre a libertação temporária de substâncias com efeito fitotóxico e a transformação da biomassa inicial (mineralização e humificação parciais). Deste processo obtém-se o composto, produto final estável, higienizado e homogéneo.

De acordo com Guo *et al.* (2019) a compostagem é um processo bioquímico típico de estabilização de resíduos orgânicos, durante o qual a matéria orgânica é degradada e posteriormente agregada, de modo a produzir substâncias húmicas, que são misturas heterogêneas e complexas, constituídas principalmente por ácidos húmicos (AHs), ácidos fúlvicos (AFs) e huminas (HUs). A Figura 2.5. representa esquematicamente os fatores que afetam a formação destas substâncias.

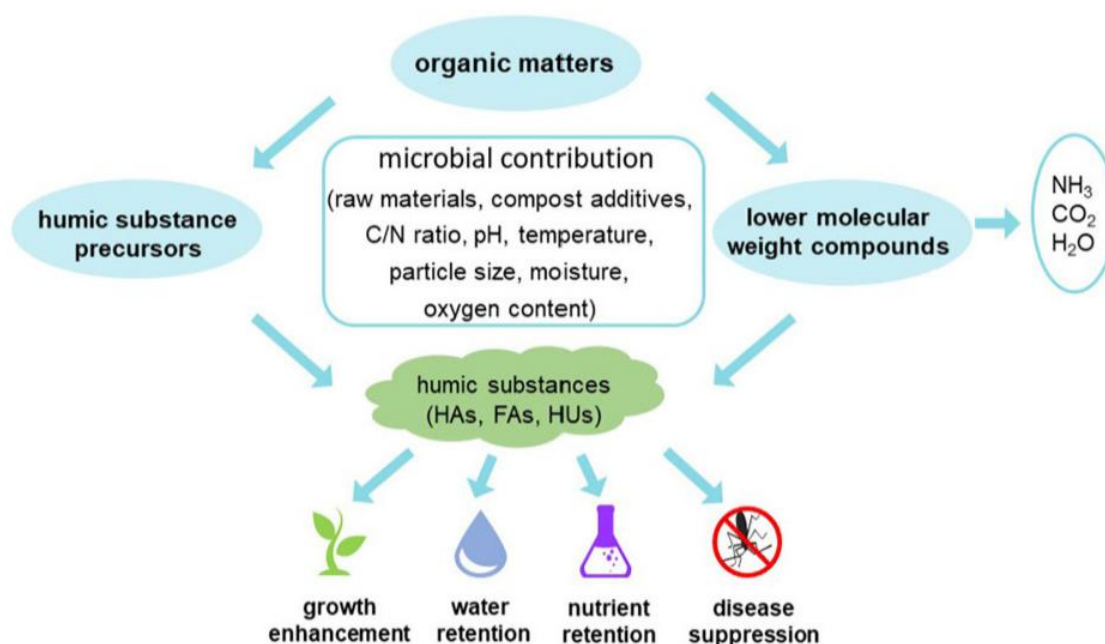


Figura 2.5. – Fatores que afetam a formação de substâncias húmicas. (Fonte: Guo *et al.*, 2019)

Segundo o Decreto-Lei n.º 103/2015, de 15 de Junho, a compostagem é “a degradação biológica aeróbia dos resíduos orgânicos até à sua estabilização, produzindo uma substância húmica, designada por composto, utilizável como corretivo orgânico do solo.”

Apesar da diversidade de definições para o processo de compostagem apresentada por diferentes autores, há características que são consideradas pela maioria, nomeadamente ser um processo que necessita de oxigénio para ocorrer (aeróbio), onde através da intervenção de microrganismos em conjunto com outros fatores, ocorre a mineralização e humificação da matéria orgânica, obtendo-se como produto final o composto (material estável, maturado, higienizado, humificado e rico em nutrientes com interesse agrícola).

Deste modo, e segundo Cunha Queda (1999) e Oliveira (2011), verifica-se que o processo de compostagem acarreta inúmeros benefícios como tecnologia de tratamento de biomassas, nomeadamente:

- Redução do volume, da massa e do teor de humidade dos resíduos tratados;
- Estabilização química e biológica dos materiais putrescíveis;
- Obtenção de produtos (compostos) com interesse agrícola, ótimos condicionadores do solo, quimicamente estabilizados, ricos em matéria orgânica e livres de microrganismos patogénicos (Paiva *et al.*, 2013).

Por sua vez, a aplicação dos compostos nos solos permite melhorar as suas propriedades físicas, químicas e biológicas, nomeadamente a fertilidade dos mesmos e, consequentemente, promover o crescimento das plantas, bem como melhorar a função do solo para o sequestro de carbono. Como os compostos são uma fonte de matéria orgânica para a manutenção ou adição do húmus do solo, melhoram a capacidade de retenção de água e de nutrientes (Piccolo *et al.*, 2004). Assim, é possível reutilizar nutrientes, como por exemplo o azoto e o fósforo, além de aumentar a produção das culturas em sistemas intensivos ou pequenas explorações agrícolas.

No Decreto-Lei n.º 103/2015, de 15 de Junho, é definido composto ou compostado como “o produto higienizado e estabilizado, resultante da decomposição da matéria orgânica por compostagem, cujas características são de molde a beneficiar, direta ou indiretamente, o crescimento das plantas”.

Tendo em conta as vantagens da sua aplicação no solo e ao seu interesse agrícola, é de salientar a importância da qualidade deste produto final quando utilizado na agricultura. A aplicação de um composto afetado por microrganismos patogénicos, cuja quantidade e

diversidade depende da origem e natureza dos resíduos utilizados, irá transmitir doenças às plantas presentes, afetando o seu crescimento e produção (Gonçalves, 2005). Se o composto imaturo e/ou não higienizado for utilizado como fertilizante de culturas agrícolas, irá estimular a atividade microbiana, afetando adversamente a germinação de sementes, crescimento e desenvolvimento de plantas, bem como os animais e humanos que as consumirem.

2.2.1. Fases do processo de compostagem. Evolução de alguns parâmetros

No processo de compostagem, pode-se considerar duas fases principais (Merkel, 1981; Vallini, 1995): a fase ativa da compostagem e a fase de acabamento (*curing*). A fase ativa é caracterizada pela rápida e intensa biotransformação aeróbia e por temperaturas elevadas, enquanto que a fase que se segue, a de acabamento, caracteriza-se por ser uma etapa de lenta e progressiva diminuição da temperatura, durante a qual a biomassa perde a fitotoxicidade residual (Cunha Queda, 1999). Em cada uma destas fases existem populações de microrganismos ativos que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica (Martinho *et al.*, 2011).

A dinâmica do processo de compostagem depende de fatores que afetam, direta ou indiretamente, o metabolismo dos microrganismos, visto que estes são responsáveis pela decomposição dos resíduos e a sua transformação num produto estável e rico em substâncias húmicas. Assim sendo, é importante proporcionar as condições ótimas para o desenvolvimento dos microrganismos através do controlo e da otimização dos parâmetros operacionais que deverão ser considerados desde logo na etapa de condicionamento dos materiais (Cunha Queda, 1999). Os principais fatores que afetam a decomposição dos resíduos são (i) a temperatura, (ii) a disponibilidade de oxigénio (arejamento), (iii) o teor de humidade, (iv) a matéria orgânica, (v) o pH e (vi) a relação C/N (Oliveira, 2011).

- **Temperatura**

A temperatura é um dos fatores mais importantes na dinâmica inerente ao processo de compostagem, tratando-se de uma manifestação da energia, sob a forma de calor, que é libertada pelos microrganismos quando, através do seu metabolismo, oxidam a matéria orgânica da biomassa (Jorge, 2018).

Segundo Stoffella e Kahn (2001), durante a compostagem predominam diferentes comunidades de microrganismos, podendo ser divididos em duas categorias consoante a sua

temperatura ótima de crescimento: os mesófilos (15-45 °C) e os termófilos (45-70 °C). Para Insam e Bertoldi (2007), há três populações de microrganismos (psicofílicos, mesófilos e termófilos) no composto, cuja presença está também relacionada com a temperatura ideal ao seu desenvolvimento (Figura 2.6.).

A evolução da temperatura no processo de compostagem é caracterizada pela existência de três fases, nomeadamente (i) fase mesófila inicial, (ii) fase termófila e (iii) fase mesófila final, onde se dá um arrefecimento gradual (Cunha Queda, 1999).

Segundo Batista e Batista (2007), inicialmente decompõem-se os constituintes mais simples por ação de uma população diversificada de bactérias e fungos mesófilos. Como consequência da sua atividade, a temperatura do composto pode aumentar até aos 45 °C. Acima desse valor, os organismos mesófilos e as suas atividades metabólicas extinguem-se, as suas estruturas vegetativas morrem ou desintegram-se, sobrevivendo apenas os microrganismos resistentes a altas temperaturas.

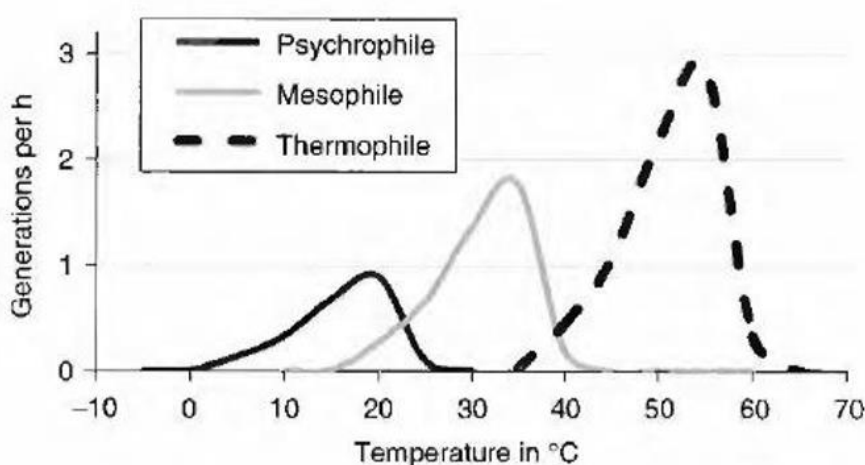


Figura 2.6. – Influência da temperatura na taxa de geração populacional dos microrganismos psicofílicos, mesófilos e termófilos presentes no composto. (Fonte: Insam e Bertoldi, 2007)

A temperatura influencia a qualidade do composto, visto tratar-se de um fator fundamental para a maximização da taxa de decomposição da matéria orgânica e, consequentemente, para a produção de um produto final livre de patogénicos. A gama de temperaturas entre 35 °C e 60 °C é considerada normal para este processo, permitindo um bom *trade-off* entre a redução patogénica e a maximização da atividade biológica (Stoffella e

Kahn, 2001). Acima de 65 °C grande parte dos microrganismos é inativada, incluindo os responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Relativamente às sementes e propágulos infestantes, estes perdem a sua viabilidade a temperaturas entre 40 °C e 60 °C (Brito, 2007).

Na Figura 2.7. é possível visualizar a evolução da temperatura ao longo do processo de compostagem.

De acordo com Martinho *et al.* (2011), os microrganismos têm a capacidade de regular a temperatura, apesar de este fator poder também ser alterado por processos de revolvimento ou de arejamento, os quais são fundamentais para aumentar a eficiência e atingir a temperatura ideal.

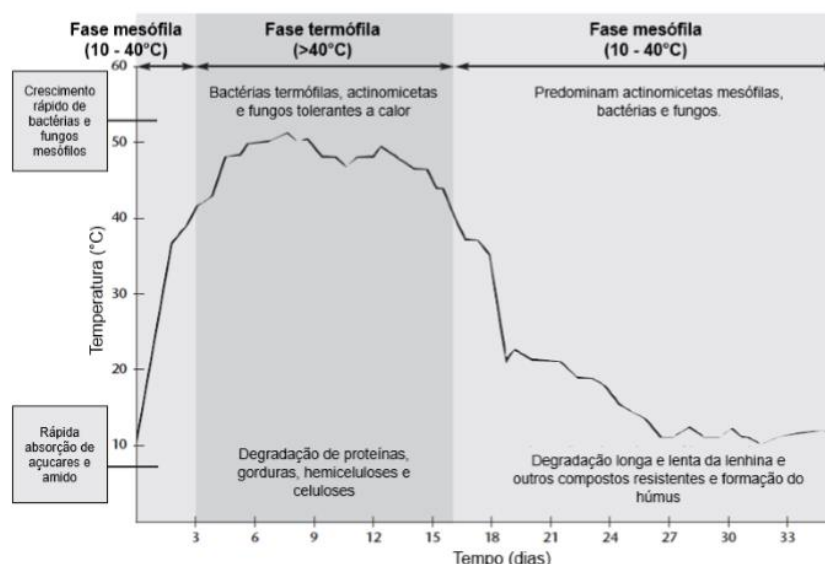


Figura 2.7. – Evolução da temperatura ao longo do processo de compostagem. (Fonte: Trautmann e Krasny, 1997)

- **Disponibilidade de oxigénio (arejamento)**

O oxigénio é fundamental na respiração e metabolismo dos microrganismos aeróbios, bem como na oxidação das moléculas orgânicas presentes na biomassa inicial. Os microrganismos oxidam a matéria orgânica para obter energia e nutrientes, consumindo O_2 e libertando CO_2 , daí a importância no cumprimento das necessidades de oxigénio ao longo de todo o processo de compostagem, de modo a garantir que este se mantém aeróbio e prossiga até ao fim (Trautmann e Krasny, 1997).

Devido ao processo de degradação da matéria orgânica, os níveis de oxigénio seguem um padrão oposto ao da temperatura, apresentando o valor mais baixo no pico de maior temperatura (fase termófila). Tal deve-se ao facto de haver mais oxigénio a ser consumido pelos microrganismos no pico mais alto da temperatura, daí existir menos oxigénio disponível no meio. Posteriormente, a temperatura diminui e o oxigénio aumenta gradualmente consoante a redução da atividade microbiana provocada pela diminuição da matéria orgânica degradável (Grigatti, 2011). Na Figura 2.8. é apresentada uma curva teórica das necessidades de oxigénio ao longo da compostagem.

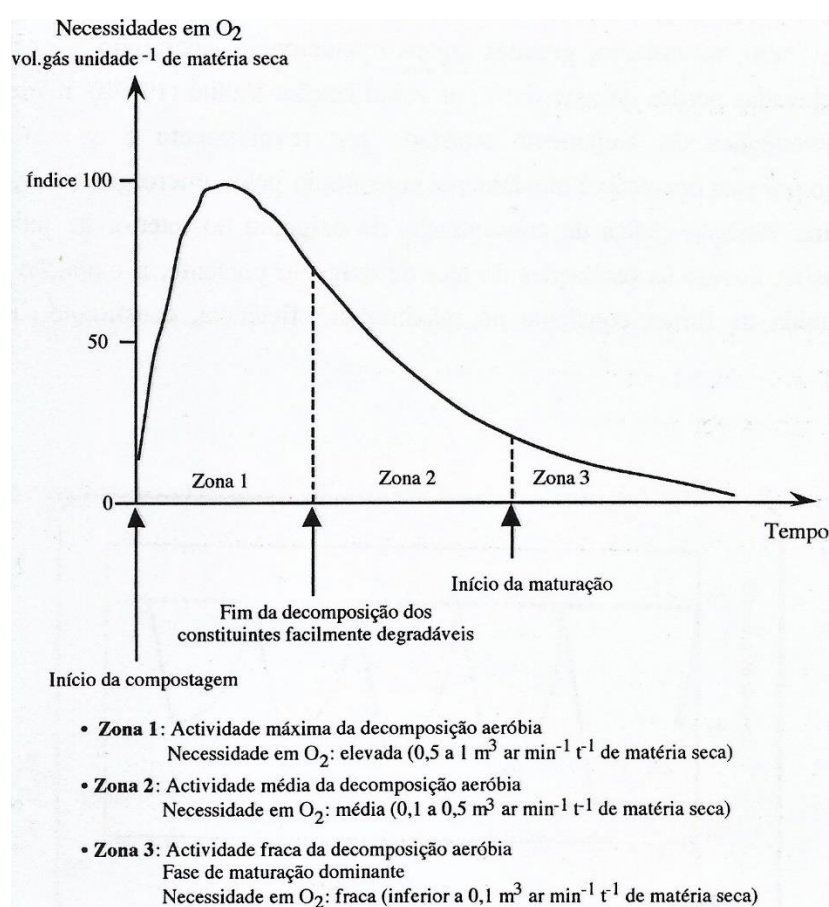


Figura 2.8. – Curva teórica das necessidades em oxigénio durante a compostagem. (Fonte: Mustin, 1987)

• Teor de humidade

O teor ótimo em humidade varia consoante as características das biomassas, estando também relacionado com a manutenção de um mínimo de interstícios contendo ar. Deste modo, diferentes materiais podem suportar diferentes teores de humidade (Cunha Queda,

1999), sendo um intervalo ótimo para o teor de humidade inicial, em peso, entre 50 a 60%, por ser esta a quantidade suficiente para a manutenção do crescimento dos microrganismos sem que o meio fique saturado e o ar possa circular entre os interstícios das partículas sólidas que compõem a biomassa (Trautmann e Krasny, 1997). Quando as condições do meio se tornam mais secas que 35%, dá-se a inibição da atividade microbiana pela falta de água; por outro lado, níveis de humidade acima de 65% tornam a decomposição da biomassa bastante lenta com a produção de odores desagradáveis e lixiviação de nutrientes, havendo a possibilidade de o meio se tornar anaeróbio.

Assim, durante o processo de compostagem, a humidade deve ser mantida dentro dos limites ótimos para a atividade biológica, pois uma excessiva desidratação da biomassa provoca o declínio das reações microbianas (Cordeiro, 2010).

Normalmente, em termos de balanço global, a humidade tende a reduzir-se ao longo do processo. Contudo, este teor não deve limitar o desenvolvimento dos microrganismos, sendo mais importante a sua disponibilidade do que a quantidade presente (Cunha Queda, 1999).

- **Matéria orgânica**

Dada a heterogeneidade dos substratos, a matéria orgânica presente nos resíduos a compostar apresenta grande variabilidade e complexidade. Tratando-se, de um modo geral, de biomassas putrescíveis, um dos objetivos da compostagem é a sua estabilização, de modo a que o produto final se apresente estável e semelhante ao húmus (Cunha Queda, 1999).

- **pH**

As biomassas deverão apresentar um pH entre 6,5 e 8, apesar de este ser um fator cuja variabilidade ao longo da compostagem é significativa. Contudo, tal variação não interfere com o processo de compostagem por este ser pouco sensível ao pH dos substratos iniciais, devido ao largo espectro de microrganismos envolvidos bem como à capacidade tampão natural. Independentemente do pH inicial, a biomassa sofrerá diversas transformações que irão alterar o pH ao longo de todo o processo (Cordeiro, 2010).

As evoluções do pH podem ser divididas em quatro fases ao longo da compostagem, segundo Mustin (1987), tal como apresentado na Figura 2.9. Numa fase inicial do processo

de compostagem, verifica-se uma diminuição do pH devido à acidificação do meio e degradação da matéria orgânica pelos microrganismos mesófilos, ocorrendo a produção intensa de CO_2 e de ácidos orgânicos (**Fase I**). Posteriormente, dá-se uma alcalinização do meio e esta tendência é invertida devido à hidrólise do azoto orgânico, por intermédio dos microrganismos termófilos (os predominantes nesta fase), com a formação de azoto amoniacal e, conseqüentemente, amoníaco, fazendo aumentar o valor de pH (**Fase II**). Uma vez terminada a fase ativa da compostagem, e depois de atingir a fase de maturação, dá-se início à estabilização do pH (**Fase III**) e as reações de maturação e o poder tampão do húmus levam à estabilização do pH na neutralidade (**Fase IV**).

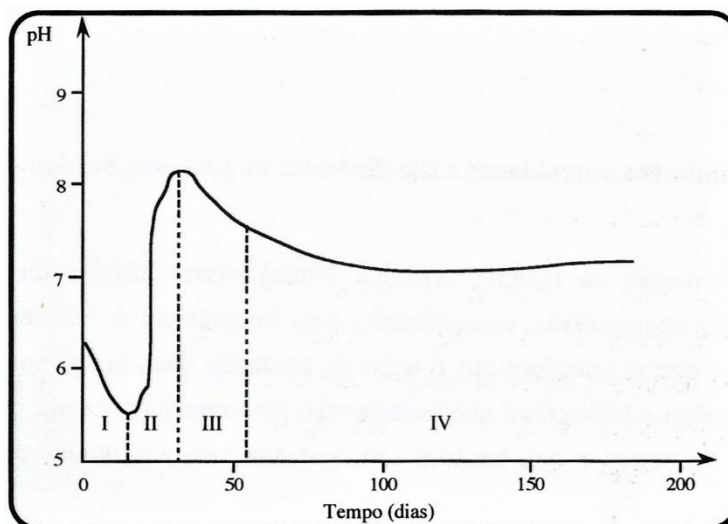


Figura 2.9. – Curva teórica das principais variações de pH durante a compostagem. (Fonte: Mustin, 1987)

De acordo com Alvarenga *et al.* (2015), devido à presença do cálcio e/ou sódio, os compostos maturados costumam ser de natureza alcalina, apresentando valores próximos de 8,0. Este elevado valor de pH indica que o composto poderá exercer um efeito alcalinizante quando aplicado no solo, mesmo que por curto espaço de tempo, especialmente quando tem baixo poder tampão.

- **Relação C/N**

É fulcral que exista uma maior quantidade de carbono do que azoto de modo a garantir a energia suficiente e necessária para o metabolismo e a síntese de novas células. Assim, a

razão ideal de carbono:azoto (C/N) da biomassa para compostagem é aproximadamente 30:1 (Trautmann e Krasny, 1997). Razões C/N que sejam inferiores a esta proporção ótima, promovem um rápido crescimento microbiano, o que, por sua vez, acelera a decomposição. Contudo, o azoto em excesso perde-se através da sua libertação para a atmosfera na forma de amoníaco, podendo ser acompanhado por alguns nutrientes. Por seu turno, razões C/N maiores que 30:1, respetivamente, não fornecem azoto em quantidade suficiente para o crescimento ótimo dos microrganismos, retardando o processo de degradação. Na Figura 2.10. é possível visualizar todas estas variações.

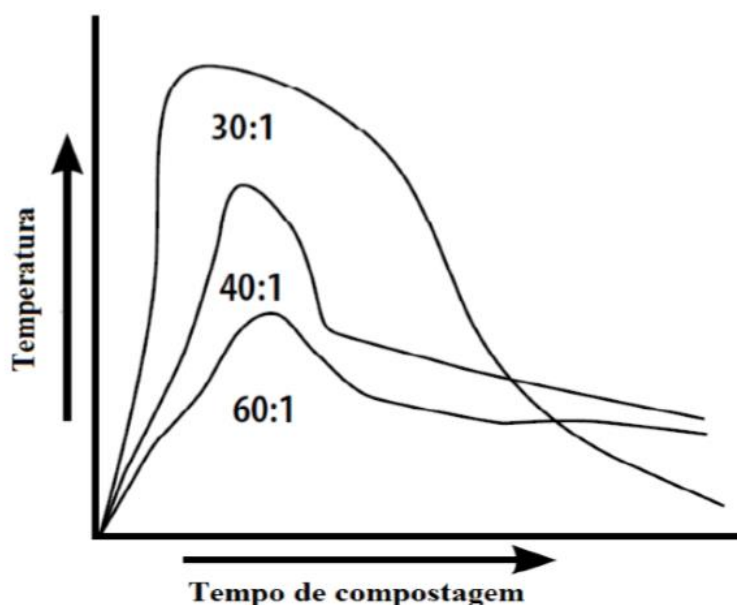


Figura 2.10. – Evolução da temperatura em função do tempo, durante o processo de compostagem, a diferentes razões C/N. (Fonte: Batista e Batista, 2007)

2.2.2. Compostagem de resíduos verdes

Segundo o Decreto-Lei n.º 103/2015, de 15 de Junho, os resíduos verdes são “os resíduos de composição vegetal provenientes de jardins, parques, florestas ou similares”.

O principal método de eliminação de materiais biodegradáveis (como galhos podados, folhas, serragem e gramíneas) dos espaços verdes urbanos ainda é a deposição em aterros sanitários (Sanasam e Talukdar, 2017). Contudo, a compostagem deste tipo de resíduos pode alterar este panorama, convertendo a biomassa numa fonte potencial de nutrientes para as culturas, nomeadamente num composto com alto teor de nutrientes e baixa

prevalência de microrganismos patogénicos. Neste sentido, em 2009 foi estabelecida uma estratégia no Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto, que fixa o objetivo de se reduzir a quantidade de resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro. Pretende-se que esta redução seja na ordem dos 35% da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos desde 1995 até Julho de 2020.

A compostagem de resíduos verdes é uma das melhores abordagens para a reutilização na produção hortícola (Boldrin *et al.*, 2009), e um valor ecológico especial desse tipo de resíduo é a possibilidade de usar os produtos de compostagem (Scotti *et al.*, 2016). Como exemplo tem-se a aplicação de chás de composto, que tem sido reconhecida como uma alternativa aos produtos químicos amplamente utilizados, tal como revelam diversos estudos (Marín *et al.*, 2013; Siddiqui *et al.*, 2009).

Foi já confirmado que a compostagem de resíduos verdes e a aplicação de composto podem reduzir algumas das consequências negativas que a urbanização tem sobre as propriedades e processos do solo. Além disso, pode melhorar os serviços ambientais de infraestrutura verde nas cidades, como o armazenamento de carbono e a eficiência no uso de nutrientes, capacidade hídrica do solo, bem como bio controle de microrganismos patogénicos. As substâncias húmicas formadas durante o processo de compostagem promovem a melhoria da fertilidade do solo, havendo um aumento real no conteúdo de matéria orgânica no solo (Bertoncini *et al.*, 2008).

2.2.3. Qualidade dos compostos

A qualidade dos produtos depende do material inicial que é utilizado para a sua formação, da idade do mesmo, do processo pelo qual é produzido, do seu conteúdo nutricional inicial e, ainda, da composição da população de bactérias (Confesor *et al.*, 2009; Neher *et al.*, 2013).

Um composto de qualidade deve ser rico em matéria orgânica para melhorar as propriedades do solo e fornecer às plantas nutrientes primários (azoto, fósforo e potássio) bem como microelementos, reduzindo a utilização de fertilizantes químicos por apresentarem um grande potencial poluidor (Oliveira, 2011). Além disso, não devem conter materiais perigosos para o Homem ou restantes espécies animais como pedras de dimensões significativas, plásticos e outros materiais antropogénicos como os metais (Ramos, 2016). Também não devem estar presentes sementes de infestantes e organismos patogénicos, como vírus, *Salmonella* spp e *E. coli*, em quantidades que sejam nefastas à saúde humana por ingestão, inalação ou contacto com a pele (Brito, 2007).

Na legislação nacional (DL n.º 103/2015, de 15 de Junho) é referido que para a avaliação e controlo da qualidade dos compostos orgânicos é necessário que o produto final cumpra um conjunto de parâmetros analíticos, referidos nos Anexos I e II do mesmo diploma, os quais estão apresentados nos Quadros 2.1., 2.2. e 2.3.

As matérias fertilizantes de origem orgânica não podem exceder os valores máximos de microrganismos patogénicos (valores reportados à matéria fresca), de sementes e de propágulos infestantes. O mesmo ocorre para o conteúdo de metais pesados, de acordo com a classe em que a matéria fertilizante se enquadrar.

Quadro 2.1. – Valores máximos admissíveis de microrganismos patogénicos, de sementes e de propágulos, reportados à matéria fresca. (Fonte: DL n.º 103/2015)

Microrganismos patogénicos	Valores máximos admissíveis
<i>Salmonella</i> spp.	Ausente em 25 g de matéria fertilizante produzida.
<i>Escherichia coli</i>	< 1000 células/g de matéria fertilizante produzida.
Sementes e propágulos de infestantes.	3 unidades ativas/Litro.

Quadro 2.2. – Valores máximos admissíveis para os teores totais de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe, em miligramas por quilograma de matéria seca. (Fonte: DL n.º 103/2015)

Parâmetro	Matéria fertilizante			
	Classe I	Classe II	Classe II A	Classe III
Cádmio (<i>Cd</i>)	0,7	1,5	3	5,0
Chumbo (<i>Pb</i>)	100	150	300	500
Cobre (<i>Cu</i>)	100	200	400	600
Crómio (<i>Cr</i>)	100	150	300	400
Mercúrio (<i>Hg</i>)	0,7	1,5	3	5,0
Níquel (<i>Ni</i>)	50	100	200	200
Zinco (<i>Zn</i>)	200	500	1000	1500

Quadro 2.3. – Parâmetros analíticos usados na avaliação da qualidade dos compostos. (Adaptado de: DL n.º 103/2015)

Matéria Orgânica (MO)	Devem conter um teor mínimo de 30% de matéria orgânica (reportado à matéria seca).
Teor de Humidade	O teor máximo de humidade permitido, expresso em percentagem de massa, é de 40%.
Granulometria	Cerca de 99% do material que constitui o composto deve passar por um crivo de malha quadrada de 25 mm.
pH	Deve situar-se entre 5,5 e 9,0.
Fitotoxicidade	Submete-se o composto a um dos testes de fitotoxicidade referidos no Anexo V do DL n.º 103/2015 (exemplo: EN 16086-1). Se o resultado revelar ausência de fitotoxicidade, o composto é considerado não fitotóxico.
Microrganismos, Sementes e Propágulos de Infestantes	Não podem exceder os valores máximos referidos no Quadro 2.1., tal como estipulado no DL n.º 103/2015.

Estabilização e maturação dos compostos

Existe alguma dificuldade em diferenciar composto estabilizado de composto maturado, uma vez que ocorre uma sobreposição entre o fim da fase ativa e o início da fase de maturação do processo de compostagem (Cunha Queda, 1999). Assim, a estabilidade é definida como a oxidação dos materiais orgânicos e a sua conversão numa forma mais estável, enquanto a maturação de um composto explica-se como o grau de estabilidade das suas propriedades físicas, químicas e biológicas (He *et al.*, 1992). Compostos não estabilizados ou não maturados podem causar problemas de odores e fitotoxicidade durante o seu armazenamento e aplicação nos solos (Batista e Batista, 2007).

Deste modo, têm sido propostos diversos parâmetros para a avaliação da estabilidade e da maturação dos compostos (Quadro 2.4.), não existindo um único parâmetro que isoladamente avalie, de forma adequada, a sua qualidade. Os parâmetros físicos, químicos e biológicos que têm sido utilizados para monitorizar a maturação e, consequentemente, a qualidade do composto incluem a razão C/N, $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$, a evolução do CO_2 , pH, CE, a capacidade de troca catiónica, carbono solúvel, teste do auto aquecimento, taxa de consumo de oxigénio e a produção de substâncias húmicas. Outro parâmetro que é considerado na avaliação da maturação do composto de forma indireta, mas, ainda assim, confiável é o índice de germinação, o qual avalia a sua fitotoxicidade (Rashad *et al.*, 2010).

Quadro 2.4. – Métodos diversos usados para avaliar a estabilidade e maturação dos compostos.
(Adaptado de: Jorge, 2018)

MÉTODOS	PARÂMETRO/DESIGNAÇÃO
Físicos	Temperatura; Cor; Odor; Granulometria; Teores de ar e água.
Químicos	Relação C/N; Iões solúveis em água, como o NO_3^- e o NH_4^+ ; Matéria orgânica solúvel em água; Capacidade de troca catiónica; Composição da fibra bruta; pH; Substâncias degradáveis.
Ensaio Biológicos	Germinação de agrião em extrato aquoso (teste de fitotoxicidade); Crescimento de azevém em substratos com composto; Desenvolvimento de plântulas em extratos aquosos e no composto.
Ensaio Microbiológicos	Microrganismos indicadores; Taxa de respiração; Atividade e biomassa dos microrganismos; Supressão de agentes fito patogênicos.
Espetroscopia	Em fase sólida; Infravermelhos.
Grau de Humificação	Substâncias húmicas totais; Teores e relações de ácidos húmicos e fúlvicos; Teor de grupos funcionais.

2.3. Avaliação da fitotoxicidade

Segundo Aslam *et al.* (2008), a fitotoxicidade corresponde a evidências de efeitos tóxicos em plantas vivas por substâncias presentes ou produzidas no meio de crescimento, as quais são absorvidas ou acumuladas nos tecidos vegetais das mesmas. É a partir da avaliação da fitotoxicidade de um composto que é possível determinar se existem ou não substâncias que possam inibir a germinação de sementes, o crescimento de raízes ou o desenvolvimento das plantas (Trautmann e Krasny, 1997).

A maioria das substâncias que causam fitotoxicidade é produzida durante o estágio ativo do processo de compostagem, nomeadamente o amoníaco, que afeta o metabolismo e o crescimento das plantas (Hoekstra *et al.*, 2002). No entanto, além da dinâmica do processo de compostagem, também a existência de metais pesados, pesticidas ou excesso de salinidade já presentes nas matérias-primas pode explicar a presença de substâncias tóxicas no composto (Belo, 2011).

Atualmente não há concordância universal relativamente ao método mais indicado para avaliar a fitotoxicidade de um composto, em parte, devido à diversidade de fatores que a podem determinar. Entre os diversos métodos propostos na literatura, destacam-se os

ensaios com diferentes espécies vegetais sensíveis e substrato. Apesar destes métodos permitirem avaliar os efeitos provocados por diversos fatores, não possibilitam, simultaneamente, a identificação dos contaminantes específicos que causam a toxicidade observada (Belo, 2011). Segundo Ataíde *et al.* (2011), as grandes vantagens dos ensaios biológicos, como os de fitotoxicidade, são o facto de serem processos rápidos e também de baixo custo.

2.4. Os novos paradigmas ambientais

Tal como afirma Leyla Acaroglu, autora e especialista em sustentabilidade, numa entrevista, “o pensamento linear é a causa de muitos dos nossos problemas industriais, sejam ambientais ou sociais” (The Circular Classroom by Leyla Acaroglu, 2019). Deste modo é importante destacar, de entre os novos paradigmas ambientais da atualidade, o papel da economia circular.

2.4.1. Da economia linear à economia circular

O padrão de consumo dominante desde a revolução industrial centra-se na obtenção de recursos, que são depois produzidos e consumidos, o que representa um modelo linear de produção: os recursos naturais são vistos como *inputs* que são utilizados para gerar bens produzidos em massa, destinados a serem adquiridos, e tipicamente descartados depois de uma simples utilização. Este modelo da economia linear de produção e consumo em massa (Figura 2.11.) está a atingir os limites físicos do planeta. Por essa razão é inevitável uma mudança de paradigma com vista à adoção de uma economia circular (Figura 2.12.), a qual se caracteriza por desenvolver atividades centradas na reutilização, reparação, reciclagem, *eco-design*, fornecimento sustentável e consumo responsável (Esposito *et al.*, 2018).



Figura 2.11. – Modelo de Economia Linear. (Fonte: Adirson Allen, 2018 in Economia Linear, Economia Circular e Blockchain)

Na lógica que caracteriza o chamado modelo económico linear parte-se do pressuposto de que os recursos são abundantes, estão disponíveis e com um baixo custo de obtenção associado. Esta conceção levou a que se gerasse um desequilíbrio entre a efetiva disponibilidade de recursos e a procura crescente, com impactos significativos, entre outros fatores, a nível ambiental, devido ao aumento exponencial de produção de resíduos. Como resultado desta crescente pressão sobre os recursos naturais, a Comissão Europeia iniciou, em 2012, a *European Resource Efficiency Platform* (EREP) com o objetivo de promover a transição para uma economia circular eficiente em termos de recursos. Neste sentido, várias têm sido as políticas apresentadas para suportar a implementação da economia circular, e desde a sua fundação que a plataforma EREP tem estado a implementar uma estrutura propícia, fornecendo diretrizes para que ocorra, efetivamente, a mudança (inicialmente gradual) para este novo modelo económico (*European Commission*, 2012).

A passagem a uma economia circular implica uma transformação profunda dos mecanismos que regem atualmente a economia mundial, – a produção e o consumo, – de modo a preservar o valor e a utilidade dos materiais que utilizamos, melhorando a sua produtividade (Lemos, 2018).

Brears (2018) assinala que ao mesmo tempo que se produz riqueza, num modelo linear e unidirecional, como o que se verifica na economia linear, compromete-se seriamente a sustentabilidade do planeta, uma vez que o aumento do capital físico e humano é conseguido à custa do capital natural. Uma forma de proteger o capital natural é reutilizar, restaurar e reciclar todos os materiais usados e resíduos que reúnam as condições necessárias para o efeito, reintroduzindo-os na economia ao conferir-lhes um novo ciclo de vida comercial, mitigando, assim, os desequilíbrios resultantes da exploração excessiva dos recursos naturais.

Tal como já mencionado, a imprevisibilidade dos contextos económicos, sociais e ambientais decorrentes do fenómeno de oferta e procura de recursos, leva a uma necessidade cada vez mais urgente da alteração dos atuais modelos de consumo. Esta mudança de paradigma visa acautelar os impactos profundos que os modelos económicos lineares causam, sobretudo ao nível da disponibilidade de recursos naturais e da biodiversidade.



Figura 2.12. – Modelo de Economia Circular. (Fonte: Adirson Allen, 2018 in Economia Linear, Economia Circular e Blockchain)

Segundo Froderman (2018), a eficiência na gestão dos recursos naturais é atualmente tida como fundamental para se garantir um crescimento económico a nível global sem comprometer o bem-estar social, enquanto se contribui para a sustentabilidade do planeta. É neste contexto que se afirma o conceito de uma economia circular, através da transformação da função primária dos recursos numa economia, convertendo o problema da sua escassez numa “janela de oportunidade” para as empresas e organizações através da reciclagem ou do aproveitamento de resíduos. Tendo já publicado uma revisão de literatura acerca dos benefícios da economia circular, este mesmo autor identifica a substituição de um modelo económico, do tipo industrial, que contempla apenas três etapas no ciclo de vida de um produto — produzir, consumir e descartar —, por modelos alternativos como a economia colaborativa, a economia de reutilização, a economia de serviços e a economia circular, tendo esta última se constituído como uma base comum, a partir da qual é possível desenvolver modelos mais específicos (Froderman, 2018).

A economia colaborativa consiste numa economia descentralizada com redes de indivíduos e comunidades, ao invés de instituições. Este tipo de economia tem o objetivo de alterar o modo atual de produção, consumo, financiamento e de educação (Froderman, 2018), permitindo juntar investidores e inventores para partilharem, escolher, produzir e distribuir

novos produtos, ou promover uma utilização ideal dos produtos por meio de redistribuição e acesso compartilhado. Em suma, a economia colaborativa prima pela mudança do poder das instituições para as redes de particulares, dá importância à inovação tecnológica, às realidades económicas e às questões ambientais, promovendo uma utilização inovadora e eficiente dos produtos (Botsman, 2013).

A economia de reutilização, também denominada de economia regenerativa ou restaurativa, descreve a necessidade de desenvolver uma nova relação entre o sistema natural e o sistema de negócios. Esta relação deve ser benéfica e a economia deve imitar as práticas eficientes que se verificam na natureza. Ao ter em consideração a natureza, este modelo reflete a projeção dos produtos de uma forma que inclui a sua desconstrução, tendo também em conta os sub-produtos que ocorrem durante o processo de manufatura. Isto significa que o modo atual de criação de produtos, utilização e descarte, tem de ser alterado e os resíduos devem ser vistos como matérias-primas para novos objetos, dando preferência às energias renováveis ao invés dos combustíveis fósseis. Esta economia defende que o propósito da sociedade deve ser o de aumentar a biodiversidade e não de reduzi-la (Hawken, 1993).

Numa economia de serviço, o padrão de consumo deixa de ser “comprar produtos” para “comprar um serviço em particular”. O consumidor passa a ser um utilizador, que paga para usar um determinado produto em vez de o possuir. O termo refere-se a um modelo económico onde se valoriza mais os serviços e a maioria dos empregos são em atividades de serviços. Ao seguir este padrão económico, a entidade fornecedora tem o incentivo de reduzir o custo de envio do produto; além disso, também reduz o consumo de energia que teria no processo de produção (Stahel, 1997).

A economia circular contém aspetos das três alternativas mencionadas anteriormente. No entanto, o conceito distingue-se pelo facto de se focar na circularidade dos recursos e em evitar gerar resíduos, apesar de todos os modelos referidos terem ajudado a desenvolver e a melhorar o conceito de economia circular. Segundo a APA (2017), “numa transição para a economia circular deve-se trabalhar sobretudo os níveis superiores da hierarquia de gestão de resíduos, potenciando a reutilização ou a reparação (de maior valor acrescentado e de menor pegada ambiental [...]), promovendo a reintrodução de materiais na economia e a valorização de resíduos que, quer seja energética quer seja material, promove [...] a poupança de recursos”.

2.4.2. Eco-cidades e eco-regiões

A auto-organização é a característica mais importante e distintiva dos sistemas vivos que explicita ou implicitamente incorpora vários conceitos importantes para compreender sistemas complexos, tais como os sistemas socio-ecológicos que constituem as cidades e os sistemas metropolitanos (Botequilha-Leitão, 2012).

A procura incessante de soluções sustentáveis para o desenvolvimento e crescimento económico numa relação positiva com o meio-ambiente e a proteção dos recursos naturais levou ao surgimento de um novo fenómeno – as eco-cidades (Joss *et al.*, 2013). A eco-cidade permite que se garanta o equilíbrio ambiental, através de uma concetualização urbana e/ou regional, sugerindo um novo estilo de vida em harmonia simultânea com o ambiente natural e o progresso económico. Isto é, trata-se de um ecossistema onde existe uma inerente circularidade dos processos físicos de recursos e atividades, incluindo os resíduos, que devem ser geridos de modo a manter a qualidade ambiental da cidade e/ou região (Wong e Yuen, 2011).

Há, no entanto, necessidade de moderar o paradigma da eco-cidade com uma forte contextualização local e medidas de sustentabilidade, dando especial atenção ao planeamento de uso da terra para evitar que sejam subvertidos os princípios do desenvolvimento sustentável. O uso da terra deve ser ecológico, ou seja, deve considerar as questões ambientais, incluindo a interdependência entre espécies humanas e não-humanas (Wong e Yuen, 2011).

Fatores como o crescimento continuado da população, o rápido aumento do consumo de recursos (exauríveis) associado à urbanização, especialmente nas economias emergentes, e as alterações climáticas, contribuem para a desestabilização dos sistemas que suportam a vida no planeta (Head e Lam, 2011). Como exemplos deste desequilíbrio tem-se a diminuição das áreas de terra disponíveis para produção agrícola (devido à urbanização, poluição e aos impactes das alterações climáticas) e a deterioração da qualidade do solo o que, por sua vez, leva à redução da produtividade dos mesmos. Consequentemente, o uso de fertilizantes químicos aumenta, havendo mais consumo de energia não-renovável, fazendo aumentar as emissões de carbono para a atmosfera.

Para contrariar estes efeitos negativos Head e Lam (2011) propõem, no contexto das eco-cidades, soluções como jardins urbanos cooperativos e agricultura urbana, contribuindo

para a produção de alimentos dentro das próprias cidades, ao invés de aprofundar a forte relação de dependência das cidades face às áreas rurais. Paredes e telhados verdes, por exemplo, podem produzir agricultura, melhorar a qualidade do ar e da água e envolver a comunidade. O recurso a técnicas de hidroponia pode ser uma excelente oportunidade para a produção de alimentos em áreas urbanas ou para permitir a recuperação da fertilidade dos solos. Segundo estes autores, estas soluções têm ainda a vantagem crucial de libertar os terrenos para novas florestas que permitam aumentar a capacidade de absorção de carbono e melhorar a biodiversidade.

PARTE II – UM EXEMPLO DE COMPOSTAGEM NA ILHA DE SÃO MIGUEL (ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES)

2.5. Enquadramento geográfico e socioeconómico dos Açores

O arquipélago dos Açores, oficialmente Região Autónoma dos Açores (RAA), é um arquipélago transcontinental português constituído por nove Ilhas situado no Atlântico nordeste (Figura 2.13.). É dotado de autonomia política e administrativa e integra a União Europeia com o estatuto de região ultraperiférica do território da União (Portal do Governo Regional dos Açores, 2018).



Figura 2.13. – Disposição geográfica do arquipélago dos Açores. (Fonte: <https://images.app.goo.gl/qrKsXXmQGpGPjpy16>)

Enquanto região insular, a RAA registou nos últimos 100 anos flutuações significativas na sua população, sobretudo devido a fenómenos migratórios (Figura 2.14.). A população residente na RAA em 2018, segundo a estimativa mais recentemente editada pelo INE, correspondeu a um total de 242 846 pessoas (INE, 2018).

Com o recente aumento do turismo nos últimos anos, sobretudo na ilha de São Miguel onde existem 137 335 habitantes (dados referentes a 2018) (SREA, 2019), a produção de resíduos *per capita* tem vindo a aumentar (DRPFE, 2018) em toda a Região. Assim, torna-se

ainda mais necessária a existência de instrumentos legais e entidades gestoras de resíduos que visem a sua correta gestão, sobretudo por se tratar de uma região insular.

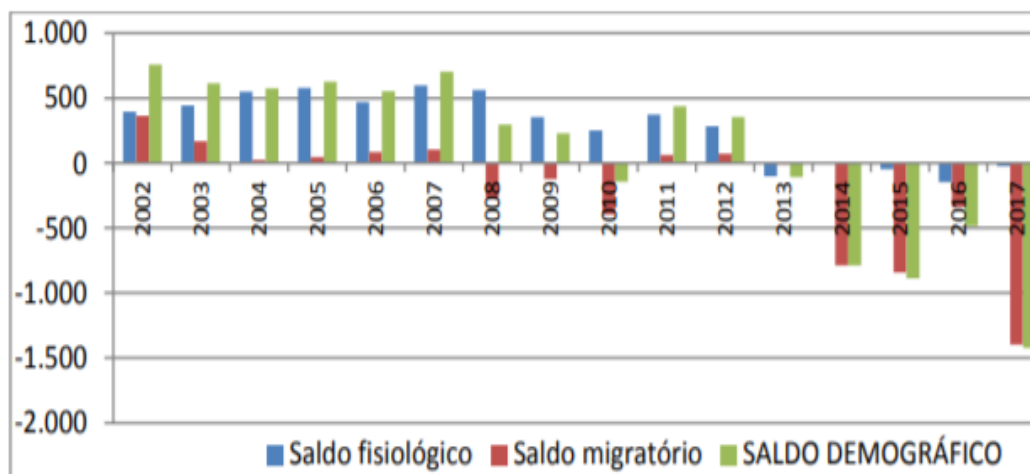


Figura 2.14. – Decomposição da evolução da população açoriana entre 2002 e 2017. (Fonte: DRPFE, 2018)

2.6. Políticas de gestão de resíduos

Antes de mais importa referir que os resíduos são, segundo o que está descrito no Decreto Legislativo Regional n.º 19/2016/A, “quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer”, nomeadamente os identificados na Lista Europeia de Resíduos. Nesta Lista os resíduos estão organizados em diferentes categorias consoante a sua origem e perigosidade, sendo considerado como “perigoso” se o resíduo contiver substâncias perigosas que lhe confirmem uma ou mais das características de perigosidade CP 1 a CP 8 e/ou CP 10 a CP 15 indicadas no anexo III da Diretiva 2008/98/CE (Anexo do Artigo 7.º da Diretiva 2008/98/CE). Depois de avaliadas as características de perigosidade do resíduo em questão, é-lhe atribuída a entrada adequada da lista de resíduos, correspondente a resíduos perigosos ou a resíduos não perigosos.

Para uma adequada gestão do ciclo de vida útil dos resíduos na RAA foram criados sistemas integrados de gestão de fluxos de resíduos, através dos quais é transferida para sociedades gestoras devidamente licenciadas para o efeito, a obrigação da gestão de resíduos dentro do quadro da responsabilidade alargada do produtor. Esta informação

encontra-se registada no Sistema Regional de Informação sobre Resíduos (SRIR), o qual foi criado pelo quadro jurídico para a gestão dos resíduos dos Açores, cuja entidade responsável é a Direção Regional do Ambiente dos Açores, sendo regulamentado pelo Decreto Legislativo Regional n.º 29/2011/A, de 16/Novembro. No **Anexo I** estão identificadas as entidades responsáveis pelos sistemas de gestão dos resíduos na Região Autónoma dos Açores.

Especificamente na Ilha de São Miguel, a recolha e gestão delegada do tratamento dos resíduos municipais está a cargo da MUSAMI, empresa que disponibilizou o composto que produz para a realização do ensaio laboratorial usado como caso de estudo nesta dissertação. No SRIR também é possível consultar a listagem de operadores de gestão de resíduos vigente na RAA, da qual a MUSAMI faz parte.

2.7. Estudo de caso: gestão de resíduos verdes da empresa MUSAMI

O composto utilizado na investigação realizada com esta dissertação teve origem na compostagem de resíduos verdes, efetuada pela MUSAMI – Operações Municipais do Ambiente E.I.M. S.A., empresa intermunicipal açoriana cuja sede se localiza no concelho da Ribeira Grande, na Ilha de São Miguel. É responsável pelo controle, recolha, tratamento e valorização dos resíduos seletivos e indiferenciados (**Anexo II**) de toda a população da maior Ilha Açoriana, tendo como associados os seis municípios que a integram, nomeadamente Ponta Delgada, Lagoa, Vila Franca do Campo, Ribeira Grande, Povoação e Nordeste (Figura 2.15.). Esta empresa, certificada em Qualidade, Ambiente, Saúde e Segurança no Trabalho e Energia, opera desde 19 de Dezembro de 2006 e tem como missão gerir “sistemas de depósito, tratamento e valorização de resíduos sólidos assim como assegurar atividades acessórias no domínio da proteção do meio ambiente” (MUSAMI, 2019).

Os serviços da MUSAMI são prestados a cerca de 137 856 mil habitantes, a qual procede ao tratamento de aproximadamente 93.000 toneladas de resíduos por ano (recolha indiferenciada e seletiva).

Atualmente, a MUSAMI dispõe de três ecoparques na Ilha de São Miguel, nomeadamente os Ecoparques I e II, localizados em Ponta Delgada, (**Anexo III**) e o Ecoparque III, localizado em São Pedro Nordestinho, concelho de Nordeste (**Anexo IV**). Na Figura 2.15. está assinalada a localização aproximada destes três ecoparques.

O principal ecoparque (Ecoparque I), sito em Ponta Delgada, dispõe atualmente de diferentes espaços, nomeadamente centro de triagem automatizado (recentemente ampliado e modernizado), ecocentro, REEE (resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos), parque de verdes, ECO⁵ (quinta biológica para produção agrícola), aterro sanitário, ETAL (estação de tratamento de águas lixivantes), central de biogás, edifício de suporte técnico, CVE (central de valorização energética) e estação meteorológica. Na Figura 2.16. encontram-se quantificados os resíduos que à entrada do Ecoparque foram encaminhados para aterro sanitário, centro de triagem, ecocentro e parque de verdes, entre 2011 e 2018. É de salientar o incremento significativo de resíduos verdes que deram entrada no parque de verdes, essencialmente a partir de 2014, o que fez aumentar a compostagem destes resíduos.



Figura 2.15. – Ilha de São Miguel, arquipélago dos Açores. Localização aproximada dos Ecoparques I, II e III. (Adaptado de: MUSAMI, 2019)

	ATERRO	CENTRO DE TRIAGEM	ECOCENTRO	PARQUE DE VERDES	TOTAL
2011	69975	5394	1195	4414	80978
2012	69872	6096	1101	4292	81361
2013	66112	6029	688	4104	76933
2014	62066	5486	455	4414	72421
2015	63277	5489	2476	5788	77030
2016	64434	7134	2685	6258	80851
2017 ¹	71527	6988	2541	8149	89205
2018	74087	6711	2991 ¹	9699	93489

Figura 2.16. – Quantidade de resíduos¹, em toneladas, à entrada do Ecoparque para os diferentes destinos. ¹A partir de Fevereiro de 2017 inclui dados referentes ao concelho de Nordeste. (Adaptado de: MUSAMI, 2019)

Além de todos os processos de recolha, seleção e tratamento dos resíduos sólidos urbanos e equiparados que também decorrem no Ecoparque III é, ainda, realizada vermicompostagem apesar de se tratar de uma atividade pouco desenvolvida.

Em funcionamento desde Outubro de 2016 no Ecoparque II está o atual aterro sanitário do Ecoparque da Ilha de São Miguel. Este situa-se no limite nordeste do concelho de Ponta Delgada com o concelho da Ribeira Grande, tendo sido projetado para o acondicionamento de resíduos não perigosos (resíduos urbanos e equiparados). O aterro do Ecoparque I encontra-se em processo de encerramento/selagem.

No **Anexo V** é possível ver com maior detalhe todo o fluxograma da gestão de resíduos existente na MUSAMI.

2.7.1. Processo de compostagem de verdes

Com o intuito de valorizar as enormes quantidades de resíduos de jardinagem e semelhantes que eram descarregados em aterro sanitário, podendo, deste modo, serem aproveitados para outros fins, surge o Parque de Compostagem de Resíduos Verdes em 2011 (Figura 2.17.), também designado por Parque de Verdes.



Figura 2.17. – Localização do parque de compostagem de resíduos verdes (Ecoparque I). (Fonte: MUSAMI, 2019)

Este projeto pioneiro da MUSAMI em São Miguel permitiu inicialmente desviar 25% deste tipo de resíduos do aterro sanitário, valor que atualmente ultrapassa cerca de 40%. Assim, desta prática surge um composto orgânico 100% natural, designado por SO-MUSAMI, obtido a partir de restos de jardinagem e madeiras descontaminadas. São produzidas, aproximadamente, 4000 toneladas de composto por ano (MUSAMI, 2019), o qual tem grande potencial de enriquecimento nutritivo para as plantas e é atualmente certificado para a agricultura biológica. É utilizado como suporte de culturas diversas, tais como em jardinagem, floricultura, agricultura e horticultura, sendo especialmente recomendado para a produção intensiva em hortifruticultura em estufa (como é o caso do ananás dos Açores) e ao ar livre, podendo ser utilizado puro ou misturado com terra. De salientar que as atividades operacionais inerentes ao parque de verdes são asseguradas por contratos externos à empresa, garantindo a qualidade e o cumprimento das regras inerentes a este setor.

Depois de chegarem ao Ecoparque da Ilha de São Miguel, os resíduos de madeira limpa bem como outros resíduos orgânicos biodegradáveis provenientes de jardinagens (resíduos de cortes de relva, podas e abate de árvores), são encaminhados para o parque de verdes dando-se, assim, início ao processo de valorização dos resíduos verdes por compostagem.



Figura 2.18. – Fase de trituração dos resíduos verdes. (Fonte: MUSAMI, 2019)

Após a receção da matéria-prima, os resíduos são devidamente triturados (Figura 2.18.) e distribuídos em pilhas de compostagem, as quais são revolvidas periodicamente com recurso a uma máquina de revolvimento (Figura 2.19.). Este equipamento específico tem como função revolver o material de modo a facilitar o arejamento das pilhas, fornecendo aos microrganismos envolvidos no processo o oxigénio necessário ao seu metabolismo para que possam decompor os resíduos e acelerar, assim, o processo de maturação. Durante esta fase, também se procede à medição da temperatura e humidade das pilhas de modo a controlar estes parâmetros e reajustá-los, se necessário.

Posteriormente, o composto devidamente higienizado e maturado é crivado a pensar nas diversas utilizações agrícolas, apresentando-se em dois calibres e podendo, deste modo, ser adquirido de acordo com o fim a que se destina, tanto a granel como em saco. A Figura 2.20. mostra o local de armazenamento do composto, previamente maturado e crivado, antes deste ser comercializado, e na Figura 2.21. está representado o boletim informativo relativo ao composto SO-MUSAMI.



Figura 2.19. – Pilhas de compostagem e máquina de revolvimento em funcionamento. (Fonte: MUSAMI, 2019)



Figura 2.20. – Local de depósito do composto crivado. (Fonte: MUSAMI, 2019)

**SUBSTRATO
ORGÂNICO
SO-MUSAMI**

100% Natural
Produto obtido na Agricultura Biológica

MUSAMI

PARA APLICAÇÃO NAS
FILEIRAS DE HORTOFRUTIFLORICULTURA
EM ESTUFA E AO AR LIVRE

SO-MUSAMI

SUBSTRATO ORGÂNICO: SO-MUSAMI
Higienizado e amadurecido por compostagem a partir de resíduos orgânicos verdes biodegradáveis;
Livre de riscos com metais pesados e agentes patogénicos;
Rico em matéria orgânica, nutrientes e microrganismos promotores do desenvolvimento e proteção das plantas;
Produto de libertação lenta de nutrientes.

RECOMENDADO PARA:
A produção intensiva em hortofrutifloricultura em estufa e ao ar livre, puro ou à mistura com terra. Multiplicação de plantas por enraizamento de estacas. Desenvolvimento de plântulas e propágulos. Cobertura do solo no combate ao desenvolvimento de infestantes. Enriquecimento do solo em MO, nutrientes e microrganismos úteis. Para plantas sensíveis à alcalinidade recomenda-se correção pH.

COMERCIALIZAÇÃO:
Venda a granel: Granulometria: Ø <25mm e materiais Inertes < 1%.

VALORES INDICATIVOS:
Pode ser aplicado puro ou à mistura na proporção 1:1 ou 2:1 em volume, em hortofrutifloricultura em estufa ou aplicando 20 a 50 ton/ha em culturas ao ar livre. Em cobertura do solo: 5 a 10cm altura.

CONSERVAÇÃO:
Manter o produto a granel protegido da chuva e do vento.

Figura 2.21. – Boletim informativo do SO-MUSAMI. (Fonte: MUSAMI, 2019)

Por ter como objetivo acelerar o processo de decomposição destes resíduos de modo a escoar o produto mais facilmente sem que este perca qualidade, recentemente a MUSAMI estabeleceu uma nova parceria com um grupo de investigação da Universidade dos Açores. Esta parceria surgiu pela necessidade de selecionar um consórcio bacteriano capaz de acelerar a compostagem de verdes.

Os ensaios consistem em recolher os microrganismos existentes nas pilhas de compostagem e enriquecer em laboratório as bactérias com melhor capacidade de decompor os materiais utilizados como matéria-prima. Ao enriquecer estes microrganismos isoladamente e introduzi-los à posteriori nas pilhas de compostagem, pretende-se tornar este processo mais previsível e controlável, com a redução do tempo necessário à formação do composto final. Depois de alguns ensaios de teste foi possível verificar que em quantidades maiores de verdes (100 quilos), as bactérias continuam a atuar e a reduzir o tempo de compostagem de 9 para 3 meses.

Esta é uma prática que contribui para a integração num sistema de economia circular através do aproveitamento de recursos com valor até ao limite possível sustentável. Além do composto traduzir-se em benefícios nutricionais para os solos, também acarreta vantagens para todos os agentes interessados (*stakeholders*), nomeadamente os fornecedores de matéria-prima (autarquias, particulares), o produtor (a empresa MUSAMI) e os destinatários (público em geral).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritos os materiais e os métodos utilizados para o desenvolvimento experimental do caso de estudo presente nesta dissertação, nomeadamente a avaliação da fitotoxicidade do composto SO-MUSAMI proveniente da compostagem de resíduos verdes na Ilha de São Miguel (Açores).

3.1. Materiais utilizados

Numa primeira fase de análise procedeu-se à caracterização laboratorial da matéria fertilizante SO-MUSAMI, gentilmente cedida pela empresa MUSAMI, a partir de uma amostra homogênea de 40 L ensacada (Figura 3.1.).



Figura 3.1. – Saco de composto SO-MUSAMI aquando da chegada ao laboratório.

No Quadro 3.1. estão apresentadas, em maior detalhe, as características físico-químicas e microbiológicas do SO-MUSAMI, indicadas no verso do saco. Trata-se de um composto que é comercializado com diferentes valores de pH, podendo ser adquirido neutro ou alcalino. A amostra recebida em laboratório não continha qualquer indicação acerca do pH da mesma, tendo sido realizadas análises à posteriori para aferir acerca do valor de pH do composto utilizado.

Quadro 3.1. – Rótulo do saco do composto SO-MUSAMI apresentado na Figura 3.1.

PARÂMETROS FÍSICOS	PARÂMETROS QUÍMICOS SO-MUSAMI (Neutro)	SO-MUSAMI (Alcalino)
Massa volúmica seca: 0,4 kg/dm ³ = 400 kg/m ³ ; Massa volúmica húmida: 0,75 kg/dm ³ = 750 kg/m ³ ; Teor em água: <40% (M/M); Porosidade: 78% (V/V); Condutividade elétrica: 1,18 mS/cm; Granulometria: 1%>20mm; 8% entre 10 - 20mm; 33% entre 5 - 10mm; 58%<5mm; Materiais inertes antropogénicos: 0,24%	MO = 33%; Azoto total = 0,96%; C/N = 19; pH = 7,1; Fósforo total (P₂O₅) = 0,40%; Potássio total (K₂O) = 1,6%; Cálcio total CaO = 2,05%; Magnésio total MgO = 1,05%; Boro total = <1,67 mg/kg; Capacidade de troca catiónica: Muito elevada (≈40cmol/kg), com Ca/Mg troca ≈2,5 e K de troca muito alto; Zinco extraível = 153 mg/kg. Teores totais em metais pesados, expressos em mg/kg: Cádmio = 0,16; Crómio = <33,3; Cobre = 41; Mercúrio = 0,07; (CLASSE I) Níquel = <33,3; Chumbo = <33,3; Zinco = 153	MO = 31,47%; Azoto total = 1,18%; C/N = 14; pH = 8,4; Fósforo total (P₂O₅) = 0,48%; Potássio total (K₂O) = 1,49%; Cálcio total CaO = 2,06%; Magnésio total MgO = 1,15%; Boro total = 16,8 mg/kg; Capacidade de troca catiónica: Muito elevada (≈40cmol/kg), com Ca/Mg troca ≈2,5 e K de troca muito alto; Zinco extraível = 125 mg/kg. Teores totais em metais pesados, expressos em mg/kg: Cádmio = 0,18; Crómio = 21; Cobre = 37,33; Mercúrio = 0,06; (CLASSE I) Níquel = 25,6; Chumbo = 21,06; Zinco = 125

Posteriormente, realizou-se um procedimento de caracterização semelhante, embora com menos parâmetros, para a turfa loira não fertilizada *Hansatorf*, da marca *Floragard* (Figura 3.2.). Esta foi utilizada juntamente com o composto como substrato de cultivo no processo de envasamento.

**Figura 3.2.** – Saco de turfa e preparação da mesma para o ensaio.

3.2. Caracterização do composto SO-MUSAMI

Para a caracterização deste composto procedeu-se à avaliação de diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos (Jorge, 2018), os quais permitem avaliar a qualidade do composto (Quadro 3.2.).

Quadro 3.2. - Parâmetros analisados no composto utilizado.

Parâmetros físicos	Teor de humidade
	Granulometria e materiais inertes
Parâmetros químicos	pH
	Condutividade elétrica (CE)
	Matéria orgânica (MO)
	Azoto total (Nt)
	Azoto amoniacal ($N-NH_4^+$)
	Azoto nítrico ($N-NO_3^-$)
	Carbono orgânico total (COT)
	Relação C/N
	Ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF)
	Taxa de humificação (TH) e índice de humificação (IH)
Parâmetros biológicos	Elementos minerais totais
	Teste de auto-aquecimento
	Teste respirométrico (atividade respiratória ao fim de 4 dias) - AT_4
	Avaliação da capacidade de germinação de sementes e propágulos infestantes

De salientar que os procedimentos experimentais que se encontram descritos para cada parâmetro foram efetuados em triplicado e baseiam-se no(s) método(s) indicado(s) no Anexo V do DL n.º 103/2015. No **Anexo VI** desta dissertação encontra-se uma tabela-resumo dos parâmetros analisados nesta fase com os respetivos métodos de referência utilizados em laboratório.

3.2.1. Parâmetros físicos

- **Teor de humidade**

Para a determinação do teor de humidade da amostra fresca recorreu-se à Norma Europeia 13040 (EN 13040:1999). Assim, este parâmetro foi determinado por gravimetria até atingir um peso constante, após a secagem de ± 10 g de amostra a 104 °C numa estufa durante pelo menos 8 horas. Posteriormente, a amostra foi arrefecida num exsicador até atingir a temperatura ambiente, tendo-se procedido nessa altura a uma nova pesagem.

Os resultados foram expressos em percentagem ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$).

- **Granulometria e materiais inertes**

A determinação da granulometria e materiais inertes foi efetuada segundo a metodologia proposta em *Methods Book for the Analysis of Compost (2002) Federal Compost Quality Assurance Organisation (FCQAO), Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK) pp. 44-47*.

Crivou-se a amostra, tendo sido utilizados para o efeito uma série de peneiras granulométricas de malha quadrada de diferentes dimensões, nomeadamente 20, 10, 5, 2 e 1 mm de abertura, de modo a separar as partículas mais grossas das partículas finas.

Os resultados obtidos foram expressos em percentagem na matéria seca.

3.2.2. Parâmetros químicos

- **pH e condutividade elétrica**

Os métodos utilizados para a determinação do pH e da condutividade elétrica baseiam-se nas Normas Europeias 13037 (EN 13037:1999) e 13038 (EN 13038:1999), respetivamente.

Preparou-se um extrato aquoso com a amostra fresca e água desionizada na proporção 60:300 mL (v/v), respetivamente, sendo de seguida colocado a agitar durante 1 hora. Posto isto, a mistura foi filtrada com um papel de filtro de porosidade intermédia (Whatman 40). Uma vez obtido o extrato filtrado foi determinado o pH recorrendo a um medidor de pH *Metrohm model 744*. No mesmo extrato determinou-se a condutividade elétrica, utilizando um condutivímetro *SevenEasy model* da marca *Mettler Toledo*, sendo este parâmetro expresso em mS cm^{-1} .

- **Matéria orgânica (MO)**

Este parâmetro foi determinado segundo o método apresentado na Norma Europeia 13039 (EN 13039:1999).

Para a determinação da matéria orgânica utilizou-se a mesma amostra que serviu para determinar o teor de humidade. Assim, depois de colocar 10 g de amostra numa estufa a 104 °C, determinando seguidamente o teor de humidade e matéria seca, determinou-se a matéria orgânica por gravimetria após a incineração da amostra, numa mufla, a 450 °C durante pelo menos 6 horas consecutivas, sendo este o tempo mínimo necessário.

Os resultados foram expressos em percentagem reportados à matéria seca ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de matéria seca).

- **Azoto total (Nt)**

O método utilizado para a determinação deste parâmetro foi o da Norma Europeia 13654-1 (EN 13654-1:2001).

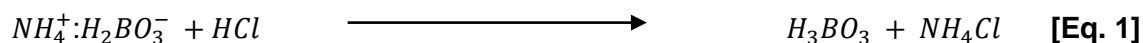
A determinação do azoto total foi feita através do método de Kjeldahl modificado que se baseia na digestão da amostra com ácido sulfúrico e ácido salicílico ($25 \text{ g. } 1000 \text{ mL}^{-1}$)

utilizando como catalisador o sulfato de cobre e sulfato de potássio. A determinação deste parâmetro pode ser dividida em três fases, nomeadamente a mineralização, destilação e titulação. A realização deste método difere consoante a concentração de N-NH_4^+ seja inferior ou superior a 500 mg L^{-1} , sendo que neste caso específico a $[\text{N-NH}_4^+]$ foi inferior a este valor.

Assim, para uma concentração inferior a 500 mg L^{-1} foram pesados $\pm 1 \text{ g}$ de amostra, previamente seca e moída, para os tubos Kjeldahl e adicionados 10 mL da solução ácido sulfúrico/ácido salicílico e $1,25 \text{ g}$ de tiosulfato de sódio em pó. Os tubos foram deixados a aquecer cuidadosamente na unidade de digestão até se formar espuma.

Nos casos em que existe uma concentração superior a 500 mg L^{-1} , recorre-se à pesagem de $\pm 3,00 \text{ g}$ de amostra fresca para os tubos Kjeldahl, adicionando-se 25 mL da solução ácido sulfúrico/ácido salicílico e $3,13 \text{ g}$ de tiosulfato de sódio em pó. Depois de arrefecido o conteúdo, adiciona-se ao tubo 3 g do catalisador (350 g de K_2SO_4 + 400 g de CuSO_4) e procede-se novamente ao seu aquecimento a uma temperatura máxima de 450°C , durante várias horas, até se obter um líquido de cor esverdeada (destilação). Depois de arrefecido, o conteúdo do tubo fica incolor.

Após a digestão, quer de uma forma ou de outra, o conteúdo dos tubos Kjeldahl é transferido para balões volumétricos de 250 mL , completando-se o volume com água destilada. Seguidamente, procede-se à destilação de 25 mL do conteúdo do balão volumétrico juntamente com cerca de 30 mL de uma base forte em excesso, nomeadamente uma solução de NaOH a 40% (m/v). Os destilados são recolhidos num Erlenmeyer com 50 mL de ácido bórico a 4% (m/v) e 3 gotas de indicador misto. Por fim, realiza-se a titulação do destilado utilizando uma solução de ácido clorídrico de concentração conhecida na presença de um indicador colorido (Cunha Queda *et al.*, 2018), tal como apresentado na equação 1.



Os resultados foram expressos em percentagem reportados à matéria seca ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de matéria seca).

- **Azoto amoniacal** ($N - NH_4^+$)

Para a extração do azoto amoniacal da amostra recorreu-se à Norma Europeia 13652 (EN 13652:2001). Para a sua leitura fez-se uma destilação com MgO segundo a ISO 5664:1984.

A determinação deste parâmetro compreende três fases sequenciais, nomeadamente a extração, a destilação e a titulação.

Começou-se por preparar um extrato aquoso com a amostra fresca e água desionizada na proporção 60:300 mL (v/v), respetivamente, sendo de seguida colocado a agitar durante 1 hora (extração). Posto isto, a mistura foi filtrada com um papel de filtro de porosidade intermédia (Whatman 40). De seguida determinou-se o azoto amoniacal do extrato por destilação na presença de 0,25 g de MgO, tendo sido recolhido o destilado num balão de Erlenmeyer com 50 mL de ácido bórico a 4 % (m/v) e 3 gotas de indicador misto.

Finalmente, realizou-se uma titulação do destilado utilizando ácido clorídrico de concentração conhecida. Os resultados foram expressos em mg de $N-NH_4^+$ kg^{-1} de matéria seca.

- **Azoto nítrico** ($N - NO_3^-$)

À semelhança do que ocorreu com o amoniacal, também a extração do azoto nítrico foi realizada com base na Norma Europeia 13652 (EN 13652:2001). Para a sua leitura recorreu-se ao Método Clássico (destilação com NaOH), o qual se baseia numa adaptação do método para os solos (Mulvaney, 1996).

Posteriormente à determinação do azoto amoniacal (já descrito) e após a primeira destilação do extrato foi adicionada uma mistura de 25 mL de uma solução de sulfato de ferro (150 g/L) e 5 mL de sulfato de prata a 0,5% com o objetivo de tornar o meio redutor, tendo-se procedido a uma nova destilação.

O destilado obtido, à semelhança do ocorrido com o do azoto amoniacal, foi recolhido num balão de Erlenmeyer com 50 mL de ácido bórico a 4% (m/v) e 3 gotas de indicador misto. Por fim, realizou-se uma titulação recorrendo a uma solução de ácido clorídrico de título conhecido na presença de um indicador colorido. Os resultados foram expressos em mg de $N-NO_3^-$ kg^{-1} de matéria seca.

- **Carbono orgânico total (COT)**

A determinação deste parâmetro baseia-se no método de Tinsley, método modificado utilizado para os solos (Schulte e Hoskins, 2009).

A amostra foi previamente seca numa estufa a 75° C e moída a uma granulometria de 2 mm. Em seguida, pesou-se $\pm 0,0150$ g da amostra para um balão Erlenmeyer de colo esmerilado, a qual é digerida com 25 mL de uma solução extrativa de dicromato de sódio 0,4 N [(19,87 g de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ + 200 mL de H_3PO_4 + 400 mL de H_2SO_4)/L].

Posteriormente, os balões de Erlenmeyer com tubos de refluxo foram colocados numa placa de aquecimento durante 2 horas. Depois de arrefecidos, adicionou-se aos balões ± 200 mL de água destilada e 4 mL de solução indicadora [(0,3 g de difenilamina-sulfonato de bário + 58,7 g de BaCl_2)/L].

Finalmente, realizou-se uma titulação do dicromato de sódio que não reagiu com o carbono da amostra, com uma solução de sal de Mohr 0,4 N [(156,86 g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ + 20 mL de H_2SO_4 /L)]. Para o ensaio de controle (branco), o procedimento foi exatamente o mesmo, no entanto utilizou-se apenas a solução extrativa.

Os resultados obtidos foram expressos em percentagem reportados à matéria seca ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de matéria seca).

- **Relação C/N**

A relação C/N foi calculada através da seguinte expressão:

$$\text{Relação C/N} = \frac{\% \text{ Carbono Total}}{\% \text{ Azoto Total}}$$

- **Ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF)**

A metodologia utilizada para a análise destes parâmetros baseou-se no Método Italiano de Extração com Pirofosfato de Sódio, tal como é indicado no Decreto-Lei n.º 103/2015.

Após a secagem a 75 °C numa estufa, a amostra foi moída e crivada a 2 mm, tendo sido posteriormente submetida a uma extração com uma solução extratante de sulfato de

sódio (1 M) e pirofosfato de sódio (0,1 M), a partir da qual se obteve o extrato húmico total. Posto isto, os ácidos húmicos foram floculados a um pH de 1,5 com uma solução 1:1 em v/v de ácido sulfúrico concentrado.

Enquanto os ácidos húmicos floculam, os fúlvicos ficam no sobrenadante. Após 24 horas, procedeu-se a uma centrifugação e secagem na placa das diferentes parcelas do extrato: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e carbono orgânico solúvel, correspondendo este último ao carbono total extraído.

Finalmente, foi quantificado o carbono a partir do método utilizado para a determinação do COT (Tinsley), determinando-se por titulação.

Os resultados foram expressos em percentagem reportados à matéria seca (g 100 g⁻¹ de matéria seca).

- **Taxa de humificação (TH) e índice de humificação (IH)**

A taxa de humificação, cujo resultado foi expresso em %, foi determinado pela seguinte equação:

$$TH = \frac{COT_{\text{Extrato Solúvel}}}{COT_{\text{Amostra}}} \times 100 \leftrightarrow TH = \frac{COS}{COT} \times 100$$

onde COT_{Extrato Solúvel} corresponde ao carbono orgânico total do extrato solúvel, ou seja, ao carbono orgânico solúvel, COS, e o COT_{Amostra} é o carbono orgânico total da amostra.

O índice de humificação, cujo resultado foi expresso em %, foi determinado da seguinte forma:

$$IH = \frac{\text{Carbono Orgânico}_{AH}}{COT_{\text{Amostra}}} \times 100 \leftrightarrow IH = \frac{\text{Carbono Orgânico}_{AH}}{COT} \times 100$$

onde o Carbono Orgânico_{AH} corresponde ao teor de carbono orgânico presente nos ácidos húmicos e o COT_{Amostra} ao carbono orgânico total da amostra.

- **Elementos minerais totais**

A extração dos elementos minerais totais foi realizada segundo a Norma Europeia 13650 (EN 13650:2001) e as leituras segundo a ISO 11885:1998.

Após a secagem da amostra a 75 °C, durante pelo menos 8 horas, procedeu-se à sua moenda a 500 µm, e à sua extração com água régia. Posteriormente, realizaram-se as suas leituras por ICP (espectrofotometria de emissão de plasma).

Os resultados das concentrações de Fe, Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Cr, B e P₂O₅ foram reportados à matéria seca e expressos em mg 1000 g⁻¹ de matéria seca.

Os resultados das concentrações de CaO, MgO, K₂O e Na foram expressos em percentagem reportados à matéria seca (g 100 g⁻¹ de matéria seca).

3.2.3. Parâmetros biológicos

- **Teste de auto-aquecimento**

A determinação deste parâmetro teve por base o método de Gutezeichen Kompost RAL-GZ 251 (1992).

Para a realização deste teste, a amostra com teor de humidade inferior a 34% foi corrigida de modo a atingir esse valor. Após a correção do teor de humidade, a amostra foi colocada em recipientes térmicos (*Dewar flask*) providos com uma sonda de temperatura no seu interior, os quais foram mantidos à temperatura ambiente durante 10 dias, tendo-se procedido ao registo da temperatura máxima atingida neste período.

- **Teste respirométrico (atividade respiratória ao fim de 4 dias) – AT₄**

O método de referência utilizado para a realização do AT₄ foi uma adaptação do método DIN 19737 para a determinação da atividade respiratória em solos.

Para a realização do teste respirométrico corrigiu-se a humidade da amostra a 45%. A seguir, pesou-se ± 20 g de amostra, em duplicado, para um frasco *Schott* de 2 L. Neste introduziu-se um dispositivo que permitiu colocar o absorvente de CO₂ e um controlador

Sensomat Control para que, deste modo, se conseguisse fazer as leituras da variação da pressão no frasco num sensor eletrónico de pressão por infravermelhos.

Após 4 dias procedeu-se à sua leitura e os resultados foram expressos em mg O₂ g⁻¹ na matéria seca.

- **Avaliação da capacidade de germinação de sementes e propágulos infestantes**

A avaliação da capacidade germinativa de sementes e propágulos infestantes foi realizada segundo o método de referência ONORM S 2023 disponibilizado em *Analytic Methods and Quality Control of Compost* (Austrian Standards Institute, 1996).

Determinou-se a condutividade elétrica da amostra (10 g de amostra + 100 mL de H₂O) e da areia, tendo sido necessário agitar durante 3 horas consecutivas. Posteriormente, a solução foi filtrada com papel de filtro de porosidade intermédia (*Whatman 40*). Depois de anotados os valores obtidos para a CE, em µS/cm, procedeu-se à mistura de 3 L de amostra e areia na proporção com CE mais próximo de 1,7 mS/cm. Colocou-se a mistura numa caixa a 20 °C, tendo-se realizado a primeira pesquisa de sementes e/ou propágulos infestantes uma semana depois e a segunda pesquisa ao fim de duas semanas.

Os resultados foram expressos em n.º sementes e/ou propágulos infestantes por L de amostra.

3.3. Ensaio biológico para a avaliação da fitotoxicidade do composto SO-MUSAMI segundo a norma EN 16086-1

O ensaio biológico realizado teve como intuito avaliar a fitotoxicidade do composto utilizando uma planta indicadora sensível – a couve chinesa (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis* L.). Para tal, seguiu-se a metodologia indicada na Norma Europeia 16086-1 (EN 16086-1:2011), que corresponde a um dos métodos de referência sugeridos no DL n.º 103/2015 (Anexo V do respetivo diploma), para a determinação da resposta da planta face ao parâmetro fitotoxicidade do composto. Na Figura 3.3. está representado o cronograma do ensaio biológico.

Este ensaio pode ser dividido em três fases (principais):

- (i) a da **sementeira e germinação**, que compreende todos os processos realizados em laboratório desde o momento da sementeira até à instalação do ensaio em estufa controlada;
- (ii) a fase do **crescimento**, que tem início no primeiro dia da instalação do ensaio até ao final das 5 semanas de crescimento;
- (iii) e a fase de **corte** da biomassa vegetal para a avaliação da fitotoxicidade do composto.

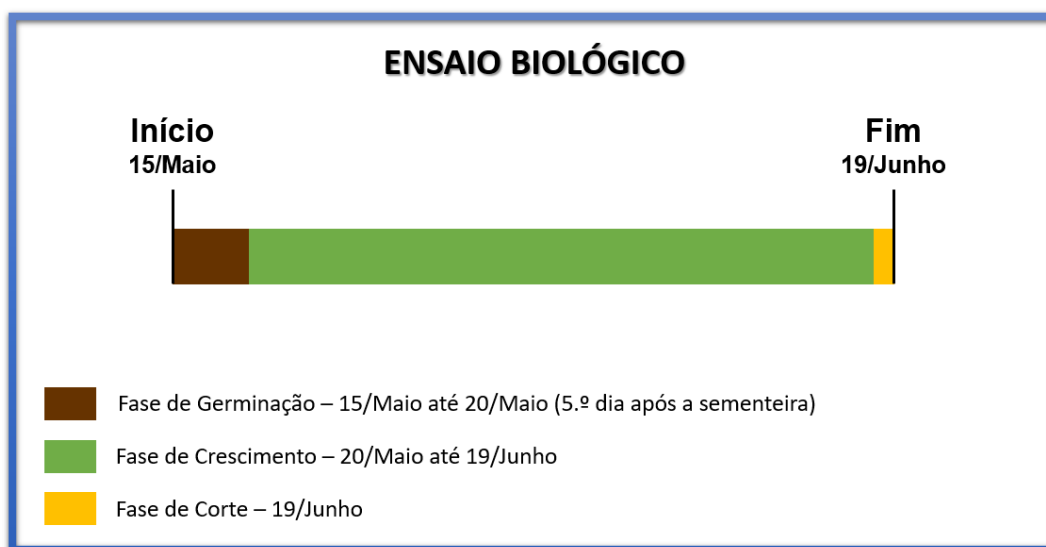


Figura 3.3. – Cronograma do ensaio biológico realizado.

O ensaio biológico de germinação e crescimento da couve chinesa decorreu no *campus* do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, nomeadamente no Horto de Química Agrícola pertencente à Secção de Química e Ambiente do Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas (DCEB-QA). Teve a duração de 5 semanas consecutivas desde a altura da sementeira até à colheita.

Tal como indicado na Norma foi utilizado como substrato uma mistura de turfa loira com a amostra (SO-MUSAMI) a diferentes proporções, nomeadamente 25:75 (v/v) e 50:50 (v/v) de amostra/turfa, com valores distintos de pH e com a couve chinesa (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis* L.) como planta indicadora.

Antes de dar início ao ensaio biológico foi necessário preparar convenientemente a turfa a utilizar no mesmo.

Preparação da turfa para o ensaio biológico

A turfa utilizada no ensaio, a turfa loira não fertilizada *Hansatorf* da marca *Floragard*, com características ácidas, depois de peneirada manualmente em peneiros de malha quadrada de diâmetro igual a 10 mm, de modo a facilitar a sua desagregação, foi submetida a um processo de calagem para correção do seu pH. Como tal foram adicionadas diferentes doses de calcário dolomítico (8, 16 e 24 g/L de turfa), tal como indicado na Norma EN 16086-1, a qual exige que se proceda a esta correção de pH inicialmente. Na Figura 3.4. está representado, de forma esquemática, o processo de calagem, que decorreu durante 11 dias consecutivos. De notar que não se procedeu a qualquer correção de pH da turfa que foi utilizada no ensaio de controle (branco) – EB0.

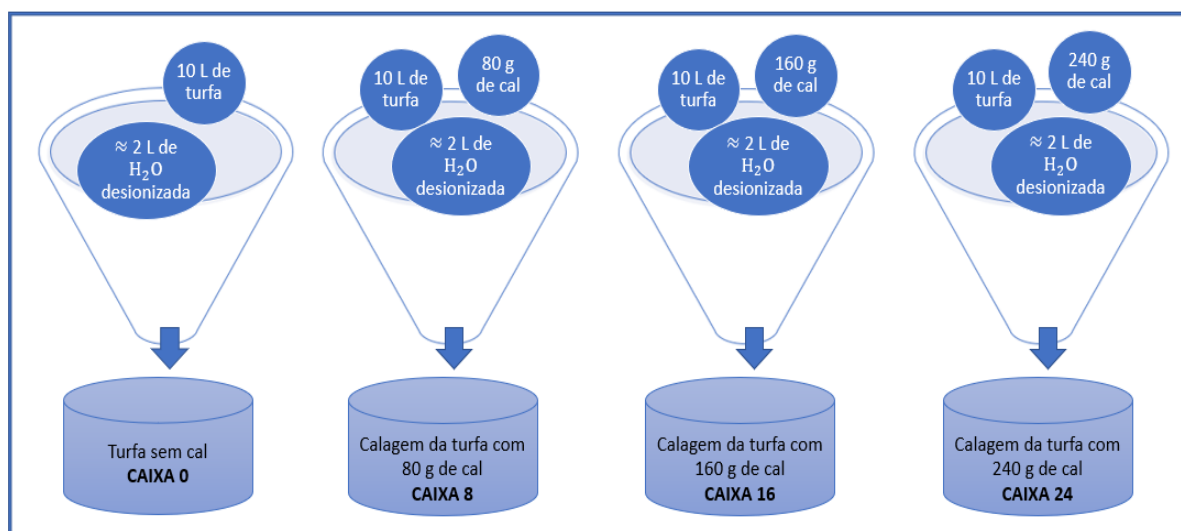


Figura 3.4. Representação esquemática do processo de preparação das turfas para o ensaio em branco (EB0), correspondente à caixa 0, e para os ensaios com diferentes doses de calcário dolomítico (caixas 8, 16 e 24).

Após a preparação das misturas foi efetuado o seu revolvimento para se obter uma mistura homogénea em cada uma das caixas. Posteriormente, as caixas foram tapadas com película aderente que foi furada em toda a sua superfície (para garantir o arejamento da turfa e evitar o aparecimento de fungos na sua superfície). Durante todo o período de calagem, adicionou-se água desionizada em quantidades diárias variáveis, mas homogéneas entre as diferentes caixas, sempre que necessário e procedeu-se ao revolvimento do material.

Em todas as modalidades das misturas foram avaliadas as formas de azoto mineral (azoto amoniacal + azoto nítrico) para se aferir qual a quantidade de solução nutritiva a

adicionar em cada mistura, de modo a garantir que todas as caixas tivessem a mesma concentração de azoto mineral.

Além do azoto mineral também se determinou o pH e a CE para a turfa. Estes parâmetros foram determinados a partir dos mesmos métodos utilizados na caracterização do composto SO-MUSAMI, já anteriormente descritos.

No dia anterior ao processo de envasamento procedeu-se à rega das caixas de turfa com uma solução nutritiva, previamente preparada em laboratório, cuja composição química é a exigida pela Norma EN 16086-1 e se encontra descrita no **Anexo VII**.

As misturas preparadas foram colocadas em vasos de plástico perfurados na base de modo a drenar em caso de excesso de água de rega, e tinham as dimensões exigidas pela Norma EN 16086-1, nomeadamente um diâmetro de $12 \pm 0,5$ cm, altura entre 8,5 e 9,0 cm e um volume entre 650 e 700 mL. Os vasos foram colocados em cima de pratos e estes em tabuleiros como se pode visualizar nas Figuras 3.5. e 3.6.

i. Fase de sementeira e germinação

Antes de se proceder à sementeira nos vasos, realizou-se o teste de germinação das sementes de modo a garantir que estas cumpriam os requisitos mínimos (germinação $\geq 90,00\%$) para a sua utilização. Assim, foram dispostos 10 papéis de filtro de banda branca em 10 placas de Petri redondas, humedecendo previamente cada um dos filtros com ± 1 mL de H_2O desionizada. Com o auxílio de uma pinça, dispôs-se 7 sementes em cada placa de Petri, as quais foram posteriormente fechadas e acondicionadas numa estufa na ausência de luz e a temperatura constante ($T = 27^\circ C$). Após 24 horas, procedeu-se à contagem das sementes germinadas e concluiu-se que as mesmas estariam aptas para serem usadas no ensaio, visto que de 70 sementes apenas 4 não germinaram, ou seja, apresentaram uma percentagem de germinação de 94,29%.

Depois de realizados todos os procedimentos descritos foram, então, semeadas 20 sementes da planta indicadora utilizada no ensaio por vaso no dia 15 de Maio, perfazendo um total de 30 vasos e 600 sementes. Estes 30 vasos já incluíam os triplicados que se fizeram para cada uma das misturas, nomeadamente EB0, EB8, EB16, EB24, EB8 25:75 e EB8 50:50 (v/v), EB16 25:75 e EB16 50:50 (v/v) e, por fim, EB24 25:75 e EB24 50:50 (v/v) para efeitos

de tratamento estatístico à posteriori. As sementes foram escolhidas aleatoriamente a partir de uma amostra de 2500 sementes de couve chinesa (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis* L.) previamente tratadas com AA Tiram 65 / Thiram (Figura 3.5.) para prevenir o aparecimento de fungos. No 5.º dia após a sementeira (20 de Maio) procedeu-se ao registo das sementes que tinham germinado, tal como a Norma EN 16086-1 exige.

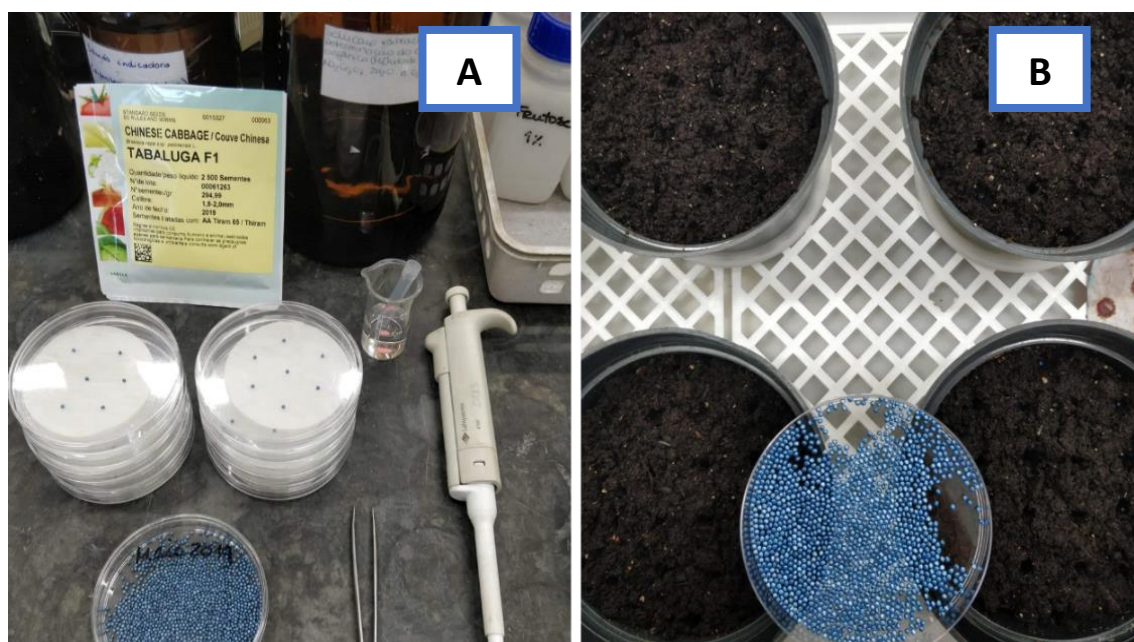


Figura 3.5. – Teste de germinação das sementes (A) e fase de sementeira (B).

ii. Fase de crescimento

A fase de crescimento decorreu desde o dia 15 de Maio até 19 de Junho de 2019, totalizando as 5 semanas indicadas na Norma EN 16086-1. Esta fase decorreu, tal como a de germinação, no interior da estufa existente no Horto de Química Agrícola, onde variáveis como a temperatura, luminosidade e humidade se encontravam em condições ótimas ($T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ e intensidade luminosa de $10\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ durante 14 horas por dia), promovendo, assim, o desenvolvimento das plantas.

Durante este período todos os vasos dispostos em tabuleiros (Figura 3.6.) foram rodados, diariamente, no sentido anti-horário para garantir que todos eles fossem expostos a diferentes ângulos de luz. Além disso, os vasos foram regados diariamente com quantidades

variáveis de água desionizada, consoante o humedecimento do substrato e o vigor foliar das plantas e, portanto, conforme as suas necessidades. Sendo a rega realizada empiricamente, pelo facto de na norma EN 16086-1 não estar indicada qual a capacidade de campo que se deve utilizar, salienta-se a importância desta informação ser referida.



Figura 3.6. – Aspeto geral do ensaio biológico na fase de crescimento.

iii. Fase de corte da biomassa vegetal para a avaliação da fitotoxicidade do composto

O corte da biomassa vegetal aérea decorreu no dia 19 de Junho de 2019 (Figura 3.7.). Esta fase caracterizou-se pelo corte de todas as plantas que germinaram em cada um dos 30 vasos no final das 5 semanas de crescimento. Depois de registado o n.º de plantas por vaso (**Anexo VIII**), procedeu-se à pesagem e registo do peso fresco da parte aérea da biomassa vegetal de cada vaso. Finalmente, essa mesma biomassa foi colocada em caixas devidamente etiquetadas, as quais foram dispostas numa estufa ventilada a 50 °C durante 48 horas. Posteriormente, realizou-se a pesagem da matéria seca correspondente a cada vaso, registando-se os valores. No **Anexo IX** é possível observar o aspeto geral das plantas, no final das 5 semanas de ensaio biológico, para cada um dos ensaios realizados.



Figura 3.7. – Fase de corte da biomassa vegetal a analisar.

Os resultados obtidos a partir deste método são apresentados como índices de inibição, tanto na fase de germinação (*GeI*) como na de crescimento (*GrI*). Assim, quanto maior for o valor destes índices para uma dada mistura, maior será a inibição, quer à germinação quer ao crescimento da planta, provocado pela adição do composto correspondente a essa mistura.

A determinação dos índices *GeI* (Inibição à Germinação) e *GrI* (Inibição do Crescimento) fez-se através do programa Excel do Windows, versão Microsoft Office Excel 365, recorrendo às fórmulas indicadas na Norma EN 16086-1, de entre as quais se destacam algumas e que se encontram descritas seguidamente.

A **taxa de germinação por vaso (GR)** é expressa em % e obtida a partir da seguinte fórmula:

$$GR = \frac{NGS}{20} \times 100$$

onde *NGS* corresponde ao n.º de sementes germinadas por vaso e 20 corresponde ao número de sementes semeadas por vaso.

Outro valor igualmente importante é a **taxa média de germinação (AGR)**, expresso também em %, pois permite concluir acerca da totalidade dos vasos utilizados no ensaio:

$$AGR (\%) = \frac{\sum_3^n GR(Vaso_n)}{n}$$

onde n indica o n.º de vasos utilizados.

Uma vez obtido $AGR (\%)$, pode-se também determinar o **coeficiente de variação da taxa de germinação (CVG)**, nomeadamente:

$$CVG = \frac{\sqrt{\frac{\sum_3^n (GR_n - AGR)^2}{n - 1}}}{AGR} \times 100$$

A **inibição à germinação, GeI** , alvo de estudo do teste de fitotoxicidade escolhido, é calculada da seguinte forma:

$$GeI (\%) = \frac{AGR_{Branco} - AGR_{Amostra}}{AGR_{Branco}} \times 100$$

onde AGR_{Branco} corresponde à taxa média de germinação do ensaio em branco e $AGR_{Amostra}$ a correspondente para a amostra.

Além da inibição na fase da germinação, a Norma EN 16086-1 também tem em conta o cálculo de GrI , a **inibição do crescimento**, nomeadamente:

$$GrI (\%) = \frac{APW_{Branco} - APW_{Amostra}}{APW_{Branco}} \times 100$$

onde APW corresponde ao peso médio das plantas:

$$APW = \frac{PW_{Vaso\ a} + PW_{Vaso\ b} + PW_{Vaso\ c}}{3}$$

Uma vez calculado *APW* é possível determinar o **coeficiente de variação do peso das plantas (CVP)**:

$$CVP = \frac{\sqrt{\frac{\sum (PW - APW)^2}{2}}}{APW} \times 100$$

3.4. Tratamento estatístico dos resultados

A análise estatística dos resultados obtidos foi realizada através de uma análise de variância (ANOVA) com base num modelo fatorial a um fator, utilizando um nível de significância $\alpha = 0,05$. Para tal recorreu-se ao software *Statistica* (versão 7.0) para Windows. Além disso, utilizou-se o teste de *Newman-Keuls* para a separação de médias ao mesmo nível de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados e discutidos os resultados obtidos durante o desenvolvimento do ensaio de avaliação da fitotoxicidade com o composto SO-MUSAMI. São igualmente apresentados os resultados obtidos para a caracterização físico-química do composto utilizado e para a biomassa vegetal produzida no ensaio biológico realizado com a planta indicadora *Brassica rapa ssp. pekinensis* L..

4.1. Caracterização do composto utilizado no ensaio – SO-MUSAMI

Nos Quadros 4.1. a 4.6. são apresentados os resultados obtidos para os parâmetros que foram analisados para o composto SO-MUSAMI (descritos no capítulo anterior).

Quadro 4.1. – Resultados obtidos para alguns dos parâmetros analisados no composto SO-MUSAMI.

Humidade (%)	34,00
Massa volúmica (g/L matéria original)	763,66
pH	8,10
CE⁽ⁱ⁾ (mS/cm)	2,14
Matéria orgânica na MS⁽ⁱⁱ⁾ (%)	30,14
Nt (g/100 g de MS⁽ⁱⁱ⁾)	1,07
N-NH₄⁺ (% MS⁽ⁱⁱ⁾)	< 0,01
N-NO₃⁻ (% MS⁽ⁱⁱ⁾)	0,03
Carbono orgânico total (% MS⁽ⁱⁱ⁾)	13,82
Relação C/N	12,92
Ácidos húmicos (% MS⁽ⁱⁱ⁾)	6,44
Ácidos fúlvicos (% MS⁽ⁱⁱ⁾)	2,52
Taxa de humificação (%)	36,12
Índice de humificação (%)	25,89

⁽ⁱ⁾ Condutividade elétrica; ⁽ⁱⁱ⁾ Matéria seca

Segundo o descrito no Anexo II do Decreto-Lei n.º 103/2015, as matérias fertilizantes constituídas por resíduos orgânicos devem conter um teor mínimo de 30% de matéria orgânica (reportado à matéria seca); um teor máximo de 40% de humidade e um pH entre 5,5

e 9,0. Assim, e tendo em conta os valores obtidos, verifica-se que o composto SO-MUSAMI cumpre os requisitos relativos a estes três parâmetros.

No Quadro 4.2. apresentam-se os resultados obtidos para a granulometria e inertes (pedras e material estranho) da amostra seca a 104 °C. Segundo a legislação em vigor, relativamente à granulometria é exigido que 99% do material que constitui a matéria fertilizante passe por um crivo de malha quadrada de 25 mm (Anexo II do DL n.º 103/2015). Observando os resultados verifica-se que também este requisito é cumprido.

Quadro 4.2. – Granulometria e inertes (pedras e material estranho) na amostra de composto SO-MUSAMI analisada.

Granulometria (amostra seca a 104 °C)		Teor de inertes (%)	
Frações granulométricas	Teor (%)	Teor de pedras	Teor de material estranho
> 20 mm	0,00	1,06	0,24
< 20 mm e > 10 mm	0,00		
< 10 mm e > 5 mm	3,87		
< 5 mm e > 2 mm	17,30		
< 2 mm e > 1 mm	17,66		
< 1 mm	61,17		

No que respeita aos metais pesados, existem valores máximos admissíveis numa matéria fertilizante, os quais também se encontram legislados no DL n.º 103/2015. É em função desses valores que se classifica uma matéria fertilizante como sendo de classe I, II, II A ou III (**Anexo X**).

Observando os resultados obtidos para os elementos minerais totais do composto SO-MUSAMI (Quadro 4.3.), com destaque para os metais pesados, é possível constatar que o Pb, Cu e o Ni estão abaixo dos valores máximos da Classe I. Por outro lado, o Cd, Cr e o Zn ultrapassam o limiar admissível para a Classe I, mantendo-se dentro dos limites da Classe II. Assim, conclui-se que se trata de um composto de Classe II, podendo, deste modo, ser utilizado em agricultura (Quadro 4.4.).

Quadro 4.3. – Elementos minerais totais do composto SO-MUSAMI.

	Parâmetro	Média
Metais pesados⁽ⁱ⁾ (mg/1000g na MS⁽ⁱⁱⁱ⁾) (extração com água régia; leitura com ICP ⁽ⁱⁱⁱ⁾)	Cd	0,81
	Pb	33,49
	Cu	62,51
	Cr	131,96
	Ni	47,74
	Zn	218,43
	Parâmetro	Média
Outros elementos minerais totais (g/100g na MS⁽ⁱⁱⁱ⁾) (extração com água régia; leitura com ICP ⁽ⁱⁱⁱ⁾)	P ₂ O ₅	0,79
	K ₂ O	1,57
	CaO	3,46
	MgO	1,65
	Na	0,84

⁽ⁱ⁾ Unidades conforme indicado no DL n.º 103/2015; ⁽ⁱⁱ⁾ Matéria seca; ⁽ⁱⁱⁱ⁾ Espectrofotometria de emissão de plasma

Quadro 4.4. – Utilização da matéria fertilizante de acordo com a classe. (Fonte: DL n.º 103/2015)

Classe de matéria fertilizante	Utilização
Classes I e II.	Agricultura.
Classe IIA.	Culturas agrícolas arbóreas e arbustivas nomeadamente pomares, olivais e vinhas. Espécies silvícolas.
Classe III	Solo onde não se pretenda implantar culturas destinadas à alimentação humana e animal: Cobertura final de aterros e lixeiras, pedreiras e minas, tendo em vista a restauração da paisagem; Cobertura de valas e taludes, no caso da construção de estradas (integração paisagística); Fertilização de solos destinados à silvicultura (espécies cujo fruto não se utilize na alimentação humana ou animal); Culturas bioenergéticas; Jardinagem; produção florícola (excluem-se as culturas edíveis); Campos de futebol e de golfe.

Como referido no capítulo anterior existem testes biológicos que permitem averiguar a existência de atividade biológica na amostra, o que é uma mais valia para a avaliação da qualidade do composto em termos das características de estabilidade e maturação da matéria orgânica do mesmo. Os resultados obtidos para o composto são apresentados no Quadro 4.5.

Quadro 4.5. – Parâmetros biológicos analisados para o composto SO-MUSAMI.

AT₄ [mg O₂/g MS⁽ⁱ⁾]	1,86
Teste de auto-aquecimento [T_{máx.} atingida em °C]	20,40
Avaliação da capacidade de germinação de sementes e propágulos infestantes	Sem Infestantes

⁽ⁱ⁾ Matéria seca

A atividade respiratória ao fim de 4 dias (AT₄) é um teste respirométrico que descreve a carência bioquímica de oxigénio de uma amostra sólida de composto durante um período de observação de 4 dias. Assim, quanto mais baixo for o valor, nomeadamente inferior a 10 mg O₂ g⁻¹ de matéria seca da amostra, menos atividade biológica existe, sendo por isso indicativo da estabilidade da matéria orgânica presente (DG Env.A.2, 2001).

Quadro 4.6. – Categorias de matéria fertilizante em função do grau de maturação. (Fonte: DL n.º 103/2015)

Temperaturas atingidas no teste de autoaquecimento em vasos de Dewar (T°C)	Grau de maturação	Categoria da matéria fertilizante
T < 40	IV e V	Maturada.
40 < T < 50	III	Semimaturada.
T > 50	I e II	Fresca.

Tal como o método anterior, o teste de auto-aquecimento também avalia a estabilidade da matéria orgânica. Tendo em conta os valores apresentados no Quadro 4.6. e tendo sido a temperatura máxima atingida, no teste de auto-aquecimento para o composto, a 20,4 °C, conclui-se que se trata de uma matéria fertilizante maturada de grau de maturação IV e V, pelo facto de T < 40 (conforme o DL n.º 103/2015).

O resultado do Teste das Sementes Infestantes foi negativo para a presença de infestantes, estando de acordo com o indicado no DL n.º 103/2015.

4.2. Caracterização do ensaio de avaliação da fitotoxicidade

4.2.1. Escolha do ensaio de controle (branco)

Tal como já referido, para se avaliar a fitotoxicidade do composto utilizado, recorreu-se à Norma Europeia EN 16086-1. De modo a calcular a inibição à germinação, foi necessário considerar o branco mais favorável de entre os 4 ensaios de controle que foram realizados (EB0, EB8, EB16 e EB24). Segundo a mesma Norma, o valor de pH da turfa previamente fertilizada com uma solução nutritiva e corrigida com calcário dolomítico deve estar compreendido entre 5,5 e 6,5. De entre os valores de pH para os ensaios de controle (brancos), nomeadamente EB0 (0 g/L de turfa), EB8 (8g/L de turfa), EB16 (16 g/L de turfa) e EB24 (24 g/L de turfa), destacam-se dois: o EB8 e o EB16, por ser nestes que os valores de pH mais se aproximam do intervalo apresentado na Norma. De forma a escolher um destes brancos, importa também comentar o valor da condutividade elétrica. Assim, é possível constatar que o EB8 é o que, destes dois ensaios, tem um valor mais baixo (CE = 44,13 $\mu\text{S/cm}$), sendo, por isso, mais favorável. Por exclusão de partes tendo em conta os valores dos parâmetros de pH e CE, o branco “ótimo” antes do início do ensaio parece ser o correspondente à turfa corrigida com 8 g de calcário dolomítico/L de turfa, o EB8 (Quadro 4.7.).

Quadro 4.7. – Valores de pH e CE obtidos para cada um dos quatro brancos utilizados.

ANTES DO ENSAIO					
		Ensaio de controle (Branco)			
		EB0	EB8	EB16	EB24
pH		4,45	5,37	6,57	7,01
		4,45	5,43	6,68	7,04
		4,50	5,45	6,64	7,04
pH médio		4,47	5,42	6,63	7,03
CE ⁽ⁱ⁾ (µS/cm)		41,20	43,90	65,70	77,60
		43,50	43,30	65,20	80,20
		41,00	45,20	66,50	77,00
CE ⁽ⁱ⁾ média		41,90	44,13	65,80	78,27

⁽ⁱ⁾ Condutividade elétrica

Além destes parâmetros, segundo os valores da taxa média de germinação (AGR), em %, os brancos que apresentam melhores valores são os EB8 e EB16, sendo que destes se destaca o EB16 com um valor de AGR = 93,33% (Quadro 4.8.).

Quadro 4.8. – Taxa média de germinação (AGR) e média dos pesos fresco (APW) e seco (APWS) obtidos nos ensaios de controle (brancos).

Ensaios de controle (brancos)	AGR (%)	APW (g)	APWS (g)
EB 0	75,00	0,13	0,01
EB 8	86,67	2,16	0,14
EB 16	93,33	1,94	0,13
EB 24	78,33	1,75	0,12

Quadro 4.9. – Valores dos pesos fresco (WP) e seco (WPS), expressos em g, percentagem de matéria seca (% MS), e respetiva média, de todos os ensaios realizados.

		Triplicados	WP (g)	WPS (g)	MS (%) por vaso	MS (%) média	
Ensaios de controle (brancos)	EB 0	a	0,972	0,120	12,346	10,400	
		b	1,811	0,172	9,498		
		c	2,223	0,208	9,357		
	EB 8	a	32,250	2,137	6,626	6,353	
		b	43,890	2,209	5,033		
		c	32,091	2,375	7,401		
	EB 16	a	34,908	2,221	6,362	6,504	
		b	34,047	2,224	6,532		
		c	35,747	2,366	6,619		
	EB 24	a	25,730	1,710	6,646	6,756	
		b	27,383	1,846	6,741		
		c	26,751	1,841	6,882		
Ensaios com composto	Proporção 25:75	EB 8	a	28,984	2,194	7,570	7,284
			b	30,388	2,117	6,967	
			c	28,834	2,109	7,314	
		EB 16	a	29,004	2,204	7,599	7,742
			b	26,341	2,110	8,010	
			c	31,701	2,415	7,618	
		EB 24	a	29,293	2,197	7,500	7,240
			b	29,663	2,062	6,951	
			c	29,215	2,124	7,270	
	Proporção 50:50	EB 8	a	24,660	1,643	6,663	6,804
			b	21,167	1,476	6,973	
			c	21,625	1,465	6,775	
		EB 16	a	19,528	1,383	7,082	7,089
			b	19,670	1,432	7,280	
			c	17,392	1,201	6,905	
		EB 24	a	23,386	1,646	7,038	6,847
			b	21,017	1,384	6,585	
			c	20,892	1,445	6,917	

Na Norma seguida, os cálculos são todos reportados à matéria fresca da biomassa obtida para a planta indicadora; contudo, decidiu-se fazer os mesmos cálculos na base seca (Quadro 4.9.) de modo a minimizar o efeito negativo da variabilidade da humidade nas plantas. Assim, e atendendo à média do peso seco das plantas, APWS (g), verifica-se que foi para o EB8 que se obteve um peso seco superior.

4.2.2. Avaliação da inibição à germinação (*GeI*)

Relativamente à fitotoxicidade do composto, o DL n.º 103/2015 não apresenta quaisquer valores para os quais a matéria fertilizante é ou não fitotóxica. Apenas indica que “a matéria fertilizante de origem orgânica é considerada não fitotóxica desde que o índice resultado da sua submissão a um dos testes de fitotoxicidade do anexo V ao presente diploma revele ausência de fitotoxicidade.”.

Os resultados obtidos para a avaliação da inibição à germinação, *GeI*, para as seis misturas é apresentado no Quadro 4.10. Para os cálculos de *GeI* foi usado o EB correspondente a cada uma das misturas.

Quadro 4.10. – Misturas dos ensaios EB8, EB16 e EB24 (8, 16 e 24 g cal/L turfa) nas proporções 25:75 e 50:50 (v/v) de composto/turfa na fase de germinação.

	Misturas (composto:turfa)					
	Proporção 25:75 (v/v)			Proporção 50:50 (v/v)		
	EB8	EB16	EB24	EB8	EB16	EB24
AGR⁽ⁱ⁾ (%)	88,333	90,000	95,000	83,333	78,333	93,333
CVG⁽ⁱⁱ⁾	6,536	0,000	5,263	3,464	3,685	8,183
<i>GeI</i>⁽ⁱⁱⁱ⁾	-1,923	3,571	-21,277	3,846	16,071	-19,149

⁽ⁱ⁾ Taxa média de germinação; ⁽ⁱⁱ⁾ Coeficiente de variação da taxa de germinação; ⁽ⁱⁱⁱ⁾ Inibição à germinação

Relativamente ao EB8 verifica-se que este apresenta um melhor valor de *GeI* na proporção mais pequena de composto (25:75, v/v) pelo facto de apresentar um valor de *GeI* negativo, revelando ausência de inibição à germinação.

Quanto ao EB16 verifica-se exatamente o mesmo padrão, sendo que neste caso já se verifica inibição à germinação tanto a 25:75 como a 50:50 (v/v) de composto/turfa, embora bem mais significativa na maior proporção de composto.

No EB24 constata-se que, tanto a 25:75 como a 50:50 (v/v) não existe qualquer fitotoxicidade (ambos os valores de *Gel* são negativos).

Assim, observando os valores de *Gel* verifica-se que de entre os ensaios EB8, EB16 e EB24 é este último ensaio o que apresenta melhores condições, revelando ausência de inibição à germinação nas duas proporções utilizadas, 25:75 e 50:50 (v/v) de amostra e turfa, respetivamente. Por outro lado, o EB16 revela ser o pior ensaio em termos de germinação por inibi-la em ambas as proporções (maior comportamento inibitório à germinação), sendo este maior na proporção 50:50, v/v (proporção obrigatória através da Norma EN 16086-1).

De salientar que, independentemente de se tratar da mistura EB8, EB16 ou EB24 em qualquer uma das duas diluições consideradas, a inibição é sempre menor a 25:75 (v/v), mesmo quando existe alguma inibição. Assim, a proporção 50:50 (v/v) sendo mais inibitória, não parece ser a melhor a utilizar num ensaio de fitotoxicidade como este.

4.2.3. Avaliação da inibição do crescimento (*Grl*)

Depois de calculado o *Gel*, procedeu-se, então, ao cálculo da inibição ao crescimento (*Grl*) reportado ao peso fresco (WP) e ao peso seco (WPS) das plantas (Quadro 4.11.).

Observando apenas os valores de *Grl* respeitantes ao peso fresco (WP) referidos no Quadro 4.11., verifica-se que estes parecem ser mais inibitórios do que na realidade são, pois há diferenças notórias para *Grl* quando reportado ao peso seco (WPS). As diferenças entre os pesos fresco e seco nas proporções 50:50 (v/v) são menores; contudo, não deixam de existir. Deste modo, parece mais correto usar-se os valores calculados para o peso seco, apesar de não estar indicado na Norma EN 16086-1, visto que os pesos secos já não têm em conta estas oscilações que se devem à humidade presente na biomassa.

Quadro 4.11. – Misturas dos ensaios EB8, EB16 e EB24 (8, 16 e 24 g cal/L turfa) nas proporções 25:75 e 50:50 (v/v) de composto/turfa na fase de crescimento.

	Misturas (composto:turfa)					
	Proporção 25:75 (v/v)			Proporção 50:50 (v/v)		
	EB8	EB16	EB24	EB8	EB16	EB24
APW⁽ⁱ⁾ (g)	1,576	1,504	1,636	1,248	1,088	1,145
APWS⁽ⁱⁱ⁾ (g)	0,115	0,116	0,118	0,085	0,077	0,078
CVP⁽ⁱⁱⁱ⁾	3,214	10,825	4,828	3,871	5,785	2,990
CVPS^(iv)	5,375	8,026	7,399	3,577	7,423	6,329
GrI^(v)	26,881	22,406	6,298	42,082	43,877	34,388
GrIS^(vi)	15,661	7,874	-0,545	37,599	38,808	33,403

(i) Peso fresco médio das plantas; (ii) Peso seco médio das plantas; (iii) Coeficiente de variação do peso fresco das plantas; (iv) Coeficiente de variação do peso seco das plantas; (v) Inibição ao crescimento reportado ao peso fresco; (vi) Inibição ao crescimento reportado ao peso seco

Relativamente às três doses de calcário dolomítico utilizadas, nomeadamente 8, 16 e 24 g/L de turfa verifica-se em geral uma diminuição da inibição ao crescimento, tanto a 25:75 como a 50:50 (v/v), à medida que a quantidade de cal aumenta. Tal ocorrência está associada ao facto de a turfa inicialmente, antes de ser corrigida, apresentar um pH muito baixo. Quanto mais ácido é o meio, maior é a promoção de inibição ao crescimento nas duas proporções de composto/turfa utilizadas, o que inviabiliza o bom desenvolvimento da biomassa vegetal.

Ao comparar os valores de *GrI* de todos os ensaios, destaca-se o ensaio preparado com EB24 por ser o que apresenta menos inibição ao crescimento em ambas as proporções. No entanto, é na proporção 25:75 (v/v) que EB24 não apresenta fitotoxicidade, apesar de apenas ser possível concluir isto atendendo ao valor de *GrIS* (*GrIS* [EB24 25:75] = -0,545).

Assim, de entre as duas proporções utilizadas no ensaio biológico, nomeadamente 25:75 e 50:50 (v/v) de composto/turfa, é a proporção com menos quantidade de composto (25:75, v/v) a que exibiu menor inibição ao crescimento. Tal resultado sugere que a partir de uma certa quantidade o composto utilizado começa a inibir o crescimento destas plantas ao invés de o promover.

No Quadro 4.12. são apresentados os valores de pH e CE antes e depois do ensaio. Por observação deste Quadro, verifica-se que ocorreu um aumento significativo da condutividade elétrica (CE) do substrato na presença do composto, sobretudo na proporção 50:50 (v/v). Tal aumento terá sido provavelmente causado pelo incremento da CE do composto, pois na proporção 25:75, v/v (com menor quantidade de composto), não se verifica este aumento. Assim, provavelmente será melhor usar a mistura com menos composto (25:75, v/v) pelo facto de na proporção 50:50 (v/v) existirem valores médios de condutividade elétrica muito mais elevados.

Quadro 4.12. – Valores dos parâmetros pH e CE, antes e depois do ensaio biológico, para todos os ensaios realizados. Os valores apresentados são respeitantes à média de 3 repetições.

ANTES DO ENSAIO										
	ENSAIOS DE CONTROLE (BRANCOS)				ENSAIOS COM COMPOSTO					
					EB8		EB16		EB24	
	EB0	EB8	EB16	EB24	25:75	50:50	25:75	50:50	25:75	50:50
pH médio	4,47 a ⁽ⁱⁱ⁾	5,42 b	6,63 c	7,03 d	7,01 e	7,41 e*	7,42 f	7,65 f*	7,54 g	7,81 g*
CE⁽ⁱ⁾ média (μS/cm)	41,90 a	44,13 a	65,80 b	78,27 c	639,00 e	1099,00 e*	683,00 e	1035,00 e*	640,00 e	1052,67 e*
DEPOIS DO ENSAIO										
	ENSAIOS DE CONTROLE (BRANCOS)				ENSAIOS COM COMPOSTO					
					EB8		EB16		EB24	
	EB0	EB8	EB16	EB24	25:75	50:50	25:75	50:50	25:75	50:50
pH médio	3,48 a ⁽ⁱⁱ⁾	6,39 b	7,05 c	7,45 d	7,50 e	7,74 e*	7,63 f	7,78 e*	7,78 g	8,03 f*
CE⁽ⁱ⁾ média (μS/cm)	747,44 a	37,40 b	64,51 c	78,74 c	482,22 e	1148,33 e*	514,00 e	1206,78 e*	495,33 e	1193,22 e*

⁽ⁱ⁾ Condutividade elétrica

⁽ⁱⁱ⁾ As médias assinaladas em cada linha para os ensaios de controle ou para os ensaios com composto com a mesma letra e asterisco para cada parâmetro, não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha = 0,05$.

De entre os ensaios de controle é de salientar o valor bastante elevado da CE de EB0 depois do ensaio. Este valor significativo poderá ter sido o responsável pelo crescimento deficitário das plantas em EB0, como se pode observar no **Anexo IX**, fazendo assim com que houvesse uma acumulação de sais e nutrientes maior no substrato. Esses sais, uma vez em grande concentração no substrato, refletem-se num valor enorme de CE por não terem sido devidamente exportados do substrato para as plantas (a não correção do pH em EB0 contribuiu para a existência de condições pouco propícias ao desenvolvimento das plantas neste substrato).

Também o pH aumentou em todas as misturas depois do ensaio, exceto em EB0 (pH = 3,48). Esse aumento generalizado poderá estar relacionado com o incremento do pH do composto (maior na proporção 50:50, v/v), sendo que o pH das misturas com composto é sempre superior ao pH dos ensaios de controle.

Como se pode constatar através da análise estatística realizada, há ensaios de controle que diferem significativamente entre si para cada um dos parâmetros analisados, pH e CE (por exemplo, todos os brancos antes do ensaio diferem significativamente entre si relativamente ao pH; contudo, o mesmo não se verifica para a CE).

5. CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões, gerais e específicas, provenientes da análise das potencialidades dos processos de transformação e valorização de resíduos verdes (compostagem de resíduos verdes), usando como caso de estudo prático a avaliação da fitotoxicidade do composto utilizado em *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* L.

Relativamente ao caso de estudo é possível concluir que de entre as duas proporções utilizadas no ensaio biológico, nomeadamente 25:75 e 50:50 (v/v) de amostra/turfa, é a proporção com menos quantidade de composto (25:75) a que parece ser a melhor para o composto em estudo, pois é a que, em todos os ensaios, nomeadamente EB8 25:75, EB16 25:75 e EB24 25:75, apresentou menos inibição ao crescimento. Tal resultado sugere que a partir de uma certa quantidade o composto começa a inibir o crescimento das plantas. Outro parâmetro que também aponta para esta conclusão são os valores do parâmetro condutividade elétrica. Verifica-se que provavelmente será melhor usar a mistura com menos composto (25:75, v/v) pelo facto de na proporção 50:50 (v/v) existirem valores médios de condutividade elétrica muito mais elevados, o que não é benéfico para o crescimento das plantas.

Quanto à Norma utilizada (EN 16086-1), há a destacar algumas dificuldades de execução da mesma, nomeadamente na escolha da dose “ótima” de calcário dolomítico a utilizar e a quantidade de água destilada utilizada na rega dos vasos, visto que não é indicado nenhum valor em concreto na Norma. Neste sentido, relativamente a trabalhos futuros, sugere-se um estudo prévio dos melhores parâmetros (dose de calcário dolomítico “ótima” e capacidade de campo). Também seria interessante averiguar qual a quantidade de composto a partir da qual o mesmo começa a contribuir para a inibição do desenvolvimento das plantas. Além disso, poderá realizar-se o mesmo estudo fitotóxico utilizando outra planta indicadora de modo a comparar resultados entre plantas com características diferentes.

Deste modo, é possível concluir que, apesar de ter de ser numa proporção menor de modo a não revelar inibição à germinação e ao crescimento de plantas, ao incorporar o composto SO-MUSAMI, obtido a partir da compostagem de resíduos verdes na turfa utilizada como substrato, geram-se benefícios. Estes tanto se verificam na saúde do solo e, consequentemente, no funcionamento dos serviços de ecossistema do mesmo como em parte integrante de uma economia circular, devendo apostar-se neste tipo de valorização.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, J. A., González, J., Tortosa, G., Baddi, G. A., Cegarra, J. (2009). *Evaluation of “alperujo” composting based on organic matter degradation, humification and compost quality*. Biodegradation, **20**(2), 257–270.
- Alvarenga, P., Mourinha, C., Farto, M., Santos, T., Palma, P., Sengo, J., Cunha-Queda, C. (2015). *Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors*. Waste Management, **40**(276), 44–52.
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2017). *Estratégia Nacional de Educação Ambiental 2020*. Disponível em:
https://enea.apambiente.pt/sites/default/files/documentos/AF_Relatorio%20ENEA%202020_A_4%20102017%20elctronico.pdf. Acedido a 20 de Julho de 2019.
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). *Solos Contaminados – Guia Técnico: Valores de referência para o solo*. Amadora. Disponível em:
<https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=1479&sub2ref=1535>. Acedido a 19 de Julho de 2019.
- Aslam, D. N., Horwath, W., VanderGheynst, J. S. (2008). *Comparison of several maturity indicators for estimating phytotoxicity in compost-amended soil*. Waste Management, **28**(11), 2070– 2076.
- Ataíde, L. M. S., Lopes, S. R., Rosa, C. S., Simões, D. A., Tavares, K. G. (2011). *Avaliação da fitotoxicidade de compostos orgânicos a partir de ensaios biológicos envolvendo sementes de tomate*. Scientia Plena, **7**(8), 1–12.
- Austrian Standards Institute (1996). *Analytic Methods and Quality Control of Compost*.
- Batista, J.G.F., Batista, E.R.B. (2007). *Compostagem – Utilização em horticultura*. Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, Açores, 252 pp.
- Belo, S. (2011). *Avaliação de fitotoxicidade através de Lepidium sativum no âmbito de processos de compostagem*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Bertoncini, E.I., D’Orazio, V., Senesi, N., Mattiazzo, M.E. (2008). *Effects of sewage sludge amendment on the properties of two Brazilian oxisols and their humic acids*. Bioresour. Technol. **99**, 4972-4979.
- Boldrin, A., Andersen, J.K., Møller, J., Christensen, T.H., Favoino, E. (2009). *Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. Waste Manag. Resour. **27**, 800-812.
- Botequilha-Leitão, A. (2012). *Eco-Polycentric Urban Systems: An Ecological Region Perspective for Network Cities*. Challenges **3**, 1-42; DOI: 10.3390/challe3010001.
- Botsman, R. (2013). *The sharing economy lacks a shared definition*.

- Brears, R. (2018). *Natural Resource Management and the Circular Economy*. London: Palgrave Studies in Natural Resource Management.
- Brito, L. M. (2007). *Fertilidade do solo, compostagem e fertilização*. Manual de Horticultura No Modo de Produção Biológico, 53–86.
- Confesor Jr., R.B., Hamlett, J.M., Shannon, R.D., Graves, R.E. (2009). *Potential Pollutants from Farm, Food and Yard Waste Composts at Differing Ages: Leaching Potential of Nutrients under Column Experiments*. *Compost. Sci. Util.* **17**, 6-17.
- Cordeiro, N. M. (2010). *Compostagem de resíduos verdes e avaliação da qualidade dos compostos obtidos – caso de estudo da Algar S.A.* Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa.
- Correia, M., Oliveira, L. (2000). *Fauna de Solo: Aspectos Gerais e Metodológicos*. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, fev. 2000. 46p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 112).
- Corvalan, C., Hales, S., McMichael, A. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment. In Ecosystems and Human Well-being: Health Synthesis*. WHO Press, World Health Organization. Geneva, Switzerland.
- Cunha Queda, A.C.F. (1999). Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis. Dissertação de doutoramento em Engenharia Agro-Industrial, ISA, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Cunha Queda, A.C., Duarte, E.A. (2018). *Guia de métodos de análise laboratorial para apoio às sessões laboratoriais*. Unidade curricular de “Tratamento de Águas, Efluentes e Resíduos”. ISA, Universidade de Lisboa.
- Decreto Legislativo Regional n.º 19/2016/A de 06 de Outubro. Diário da República n.º 192/2016 – 1.ª Série. Região Autónoma dos Açores – Assembleia Legislativa.
- Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho. Diário da República n.º 116/2011 – 1.ª Série. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Decreto-Lei n.º 103/2015 de 15 de Junho. Diário da República n.º 114/2015 – 1.ª Série. Ministério da Economia.
- DG Env.A.2 – Directorate-General Environment (2001). Biological treatment of biowaste, 2nd Draft. *Working document*.
- DIN 19737 (2001). *Soil Quality – Laboratory Methods for Determination of Microbial Soil Respiration*. German Institute for Standardisation.
- Dominati, E., Patterson, M., Mackay, A. (2010). *A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils*. *Ecological Economics*, **69**(9), 1858-1868.

- DRPFE – Direção Regional do Planeamento e Fundos Estruturais (2018). *Situação Socioeconómica 2017*. Disponível em: <http://www.azores.gov.pt/Portal/pt/entidades/vp-drpfe/textoImagem/Situacao+Socioeconomica.htm>. Acedido a 24 de Setembro de 2019.
- Ellen MacArthur Foundation (2012). *Towards the Circular Economy* Vol. 1. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Edited by Ellen MacArthur Foundation.
- EN 13037 (1999). *Soil improvers and growing media – Determination of pH*. European Committee for Standardization.
- EN 13038 (1999). *Soil improvers and growing media – Determination of electrical conductivity*. European Committee for Standardization.
- EN 13039 (1999). *Soil improvers and growing media – Determination of organic matter content and ash*. European Committee for Standardization.
- EN 13040 (1999). *Soil improvers and growing media – Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density*. European Committee for Standardization.
- EN 13650 (2001). *Soil improvers and growing media – Extraction of aqua regia soluble elements*. European Committee for Standardization.
- EN 13652 (2001). *Soil improvers and growing media – Extraction of water soluble nutrients and elements*. European Committee for Standardization.
- EN 13654-1 (2001). *Soil improvers and growing media – Determination of nitrogen – Part 1: Modified Kjeldahl method*. European Committee for Standardization.
- EN 16086-1 (2011). *Soil improvers and growing media – Determination of plant response – Part 1: Pot growth test with Chinese cabbage*. European Committee for Standardization.
- Esposito M., Tse T., Soufani K. (2018). *Introducing a Circular Economy: New Thinking With New Managerial and Policy Implications*. California Management Review, **60**(3), 1–5, DOI: 10.1177/00081256187646911.
- European Commission (2012). *Manifest for a Resource Efficient Europe*, European Commission.
- Eurostat – European Statistical Authority. (2017). *Estatísticas dos Resíduos*. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/pt#Estat.C3.ADsticas_dos_res.C3.ADduos. Acedido a 19 de Agosto de 2019.

- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). *Soil is a non-renewable resource. Its preservation is essential for food security and our sustainable future*. Disponível em: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/pt/c/275770/>. Acedido a 5 de Agosto de 2019.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019a). *Key definitions. What is soil?* Disponível em: <http://www.fao.org/soils-portal/about/all-definitions/en/>. Acedido a 23 de Julho de 2019.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019b). *Global Symposium on Soil Erosion*. Disponível em: <http://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/key-messages/en/>. Acedido a 23 de Julho de 2019.
- Froderman, L. (2018). *Exploratory Study on Circular Economy Approaches: A Comparative Analysis of Theory and Practice*. Wiesbaden: Springer.
- Gonçalves, M.S. (2005). *Gestão de resíduos orgânicos*. Sociedade Portuguesa de Inovação, Porto.
- Grigatti, M., Cavani, L., Ciavatta, C. (2011). *The evaluation of stability during the composting of different starting materials: Comparison of chemical and biological parameters*. Chemosphere, **83**:1, 41–48.
- Guo, X., Liu, H., Wu, S. (2019). *Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties and agronomic functions*. Science of the Total Environment. **662**, 501–510.
- Gutezeichen Kompost RAL-GZ 251 (1992).
- Hawken, P. (1993). *The ecology of commerce. A declaration of sustainability*. Rev. ed. New York: Harper Business.
- He, X.T., Traina, S.J., Logan, T.J. (1992). *Chemical properties of municipal solid waste compost*. J. Environ. Qual., **21**, 318-329 (cit. Cunha Queda, 1999).
- Head, P., Lam, D. (2011). *How Cities Can Enter the Ecological Age in Wong, T. e Yuen B. (ed.) Eco-city Planning: Policies, Practice and Design*. 17-30. Dordrecht: Springer.
- Hoekstra, N., Bosker, T., Lantinga, E. (2002). *Effects of cattle dung from farms with different feeding strategies on germination and initial root growth of cress (Lepidium sativum L.)*. Agriculture, Ecosystems and Environment. **93**, 189-196.

- INE – Instituto Nacional de Estatística (2018). Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0008273&selTab=tab0. Acedido a 20 de Julho de 2019.
- Insam, H., Bertoldi, E. (2007). *Microbiology of the Composting Process*. No livro de L. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier, & E. Stentiforf, *Compost Science and Technology*, Volume 8. Elsevier.
- ISO 11885 (1998). *Water quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)*.
- Jiang, T., Schuchardt, F., Li, G., Guo, R., Zhao, Y. (2011). *Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost*. *Journal of Environmental Sciences*, **23**(10), 1754-1760.
- Jorge, M. (2018). *Avaliação da Fitotoxicidade de Compostos Orgânicos e da Desintegração de Materiais: Contributo para aferição das Normas Técnicas EN 16086-1 e ISO 20200*. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente, FCUL, UNL, Lisboa.
- Joss, S., Cowley, R., Tomozeiu, D. (2013). *Towards the 'ubiquitous eco-city': An analysis of the internationalization of eco-city policy and practice*. *Urban Research & Practice*, **6**(1), 54-74. DOI: 10.1080/17535069.2012.762216.
- Lal, R. (2001). *Managing World Soils for Food Security and Environmental Quality*. *Advances in Agronomy*, **74**, 155-168.
- Lemos, P. (2018). *Economia Circular como fator de resiliência e competitividade na região de Lisboa e Vale do Tejo: Estudos para uma Região RICA Resiliente, Inteligente, Circular e Atractiva*. Lisboa: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo.
- Liu, Z., Wang, D., Ning, T., Zhang, S., Yang, Y., He, Z., Li, Z. (2017). *Sustainability assessment of straw utilization circulation modes based on the emergetic ecological footprint*. *Ecol. Indic.* **75**, 1–7.
- Marín, F., Santos, M., Diáñez, F., Carretero, F., Gea, F.J., Yau, J.A., Navarro, M.J. (2013). *Characters of compost teas from different sources and their suppressive effect on fungal phytopathogens*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* **29**, 1371-1382.
- Martinho, M.G., Gonçalves, M.G., Silveira, A. (2011). *Gestão Integrada de Resíduos*. Universidade Aberta.
- Merkel (1981). *Composting. Managing livestock wastes*. Ed. por AVI, 306-322 (cit. Cunha Queda, 1999).

- Methods Book for the Analysis of Compost (2002). Federal Compost Quality Assurance Organisation (FCQAO), Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK), 44-47.
- Motiejūnaitė, J. *et al.* (2019). *Cultural ecosystem services provided by the biodiversity of forest soils: A European review*. *Geoderma*, **343**, 19-30.
- Mulvaney, R. L. (1996). *Nitrogen-Inorganic Forms*. In D.L. Sparks, A.L., Page, P.A., Helmke, R.H., Loeppert, P.N., Soltanpoor, M.A., Tabatabai, C.T., Johnston & Sumner, M.E. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*, 1123-1184. SSSA Book Series, Nº5.
- MUSAMI – Operações Municipais do Ambiente E.I.M. S.A. (2019). *Relatório de Sustentabilidade 2018*. Disponível em: <https://www.musami.pt/>. Acedido a 12 de Setembro de 2019.
- Mustin, M. (1987). *Le compost: gestion de la matière organique*. Édition François Dubusc, 954 pp (cit. Ramos, 2016).
- Neher, D.A, Weicht, T.R., Bates, S.T., Leff, J.W., Fierer, N. (2013). *Changes in Bacterial and Fungal Communities across Compost Recipes, Preparation Methods, and Composting Times*. *PLoS One* **8**(11), e79512. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079512>.
- Nielsen, U., Wall, D., Six, J. (2015). *Soil Biodiversity and the Environment*. *Annual Review of Environment and Resources*. **40**:4, 1-4.28.
- Nortcliff, S. (2002). *Standardisation of soil quality attributes*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **88**, 161–168.
- Oliveira, C. R. (2011). *Avaliação da qualidade de compostos de borras de café na produção de plantas aromáticas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa.
- Oliveira, R. V. (2010). *Testes de Maturação Aplicados a Matrizes Bioestabilizadas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa.
- Paiva, E.C.R., Matos, A.T., Barros, R.T., Costa, T.D.R. (2013). *Análise Comparativa Da Adequação Da Relação C/N e Do Índice Ct/Cot Como Parâmetros Da Evolução Da Compostagem*. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 1–6.
- PEGRA – Plano Estratégico de Gestão de Resíduos dos Açores (2007). Disponível em: <http://www.azores.gov.pt/NR/rdonlyres/F6E2C746-7723-4328-8EDB-BF4910F71285/0/pegra.pdf>. Acedido a 6 de Agosto de 2019.

- Piccolo, A., Spaccini, R., Nieder, R., Richter, J. (2004). *Sequestration of a biologically labile organic carbon in soils by humified organic matter*. Climatic Change. **67**, 329-348.
- PORDATA – Base de Dados Portugal Contemporâneo (2018). Disponível em: <https://www.pordata.pt/Municipios>. Acedido a 18 de Setembro de 2019.
- Portal do Governo Regional dos Açores (2019). Disponível em: <http://www.azores.gov.pt/Portal/pt/principal/homepage.htm>. Acedido a 19 de Julho de 2019.
- Ramos, N. (2016). Avaliação da Fitotoxicidade de Corretivos Orgânicos. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, UL, Lisboa.
- Rashad, F.M., Salch, W.D., Moselhy, M.M. (2010). *Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems, I-composting, quality, stability and maturity indices*. Bioresour. Technol. **101**, 5951-5960.
- Reid, W.V., Mooney, H.A., Cropper, A., et al. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment. In Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. Washington, D.C., USA.
- Ren, X., Zeng, G., Tang, L., Wang, J., Wan, J., Liu, Y., Yu, J., Yi, H., Ye, S., Deng, R. (2017). *Sorption, transport and biodegradation – an insight into bioavailability of persistent organic pollutants in soil*. Sci. Total. Environ. 610–611, 1154–1163.
- Sanasam, S., Talukdar, N. (2017). *Quality Compost Production from Municipality Biowaste in Min with Rice Straw, Cow Dung and Earthworm Eisenia fetida*. Compost Science & Utilization, DOI: 10.1080/1065657X.2016.1249312.
- Sánchez, O.J., Ospina, D.A., Montoya, S. (2017). *Compost supplementation with nutrientes and microorganisms in composting process*. Waste Management. **69**, 136-153.
- Schulte, E. E., Hoskins, B. (2009). *Recommended Soil Organic Matter Tests. In Recommended Soil Testing Procedures for the Northeastern United States (Northeast)*. The Northeast Coordinating Committee for Soil Testing.
- Science Communication Unit, University of the West of England, Bristol (2013).
- Science for Environment Policy In-depth Report: Soil Contamination: Impacts on Human Health. Report produced for the European Commission DG Environment. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/IR5_en.pdf. Acedido a 10 de Julho de 2019.

- Scotti, R., DaAgostino, N., Pane, C., Zaccardelli, M. (2016). *Humic acids and compost tea from compost for sustainable agriculture management*. Acta Hort. **1146**, 115-120.
- Semple, K.T., Reid, B.J., Fermor, T.R. (2001). *Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants*. Environ. Pollut. **112**, 269–283.
- Siddiqui, Y., Meon, S., Ismail, R., Rahmani, M., Ali, A. (2009). *In vitro fungicidal activity of humic acid fraction from oil palm compost*. Int. J. Agric. Biol. **11**, 448-452.
- SREA – Secretaria Regional de Estatística dos Açores (2019). Disponível em: https://srea.azores.gov.pt/Conteudos/Relatorios/lista_relatorios.aspx?idc=392&idsc=6453&lang_id=1. Acedido a 18 de Julho de 2019.
- SRIR – Sistema Regional de Informação sobre Resíduos (2019). Disponível em: <http://srir.azores.gov.pt/>. Acedido a 1 de Outubro de 2019.
- Stahel, W. R. (1997). *The service economy: 'wealth without resource consumption'?* In Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences **355** (1728), 1309–1319.
- Stoffella, P. J., Kahn, B. A. (2001). *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- The Circular Classroom by Leyla Acaroglu (2019). Disponível em: <https://circularclassroom.com/>. Acedido a 26 de Agosto de 2019.
- Trautmann, N., Krasny, M. (1997). *Composting in the Classroom*. Scientific Inquiry for High School Students. Ed. Cornell University.
- Vallini, G. (1995). *Compost*. *Dizionario dell'ambiente*. Ed. Gamba, G., Martignetti, G., ISEDI, UTET Libreria, Torino, 173-174 (cit. Cunha Queda, 1999).
- Varenes, A. (2003). *Produtividade dos solos e ambiente*. Escolar Editora. Lisboa.
- Westman, W.E. (1977). *How much are nature's services worth?* Science, **197**, 960–964.
- Wong, T., Yuen B. (2011). *How Cities Can Enter the Ecological Age*, in Wong, T. e Yuen B. (ed.) *Eco-city Planning: Policies, Practice and Design*, 1-13. Dordrecht: Springer.

ANEXOS

Anexo I – Entidades responsáveis pelos sistemas de gestão dos resíduos na Região Autónoma dos Açores. (Adaptado de: www.azores.gov.pt, consultado a 20/09/2019)

Anexo II – Representação esquemática dos fluxos ambientais da MUSAMI em 2018. (Adaptado de: MUSAMI, 2019)

Anexo III – *Lay-out* dos Ecoparques I e II da Ilha de São Miguel. (Fonte: MUSAMI, 2019)

Anexo IV – *Lay-out* do Ecoparque III da Ilha de São Miguel. (Fonte: MUSAMI, 2019)

Anexo V – Fluxograma da operacionalidade inerente à gestão de resíduos na empresa MUSAMI. (Fonte: MUSAMI, 2019)

Anexo VI – Tabela-resumo dos parâmetros analisados na fase de caracterização do composto (SO-MUSAMI) e respetivos métodos de referência utilizados em laboratório.

Anexo VII – Composição da solução nutritiva, exigida pela Norma Europeia 16086-1:2011, para suprir possíveis carências nutricionais. (Fonte: Norma Europeia EN 16086-1:2011)

Anexo VIII – Número de sementes germinadas, por vaso, no final do ensaio biológico (fase de corte), ou seja, o número de plantas que se desenvolveram ao longo do ensaio.

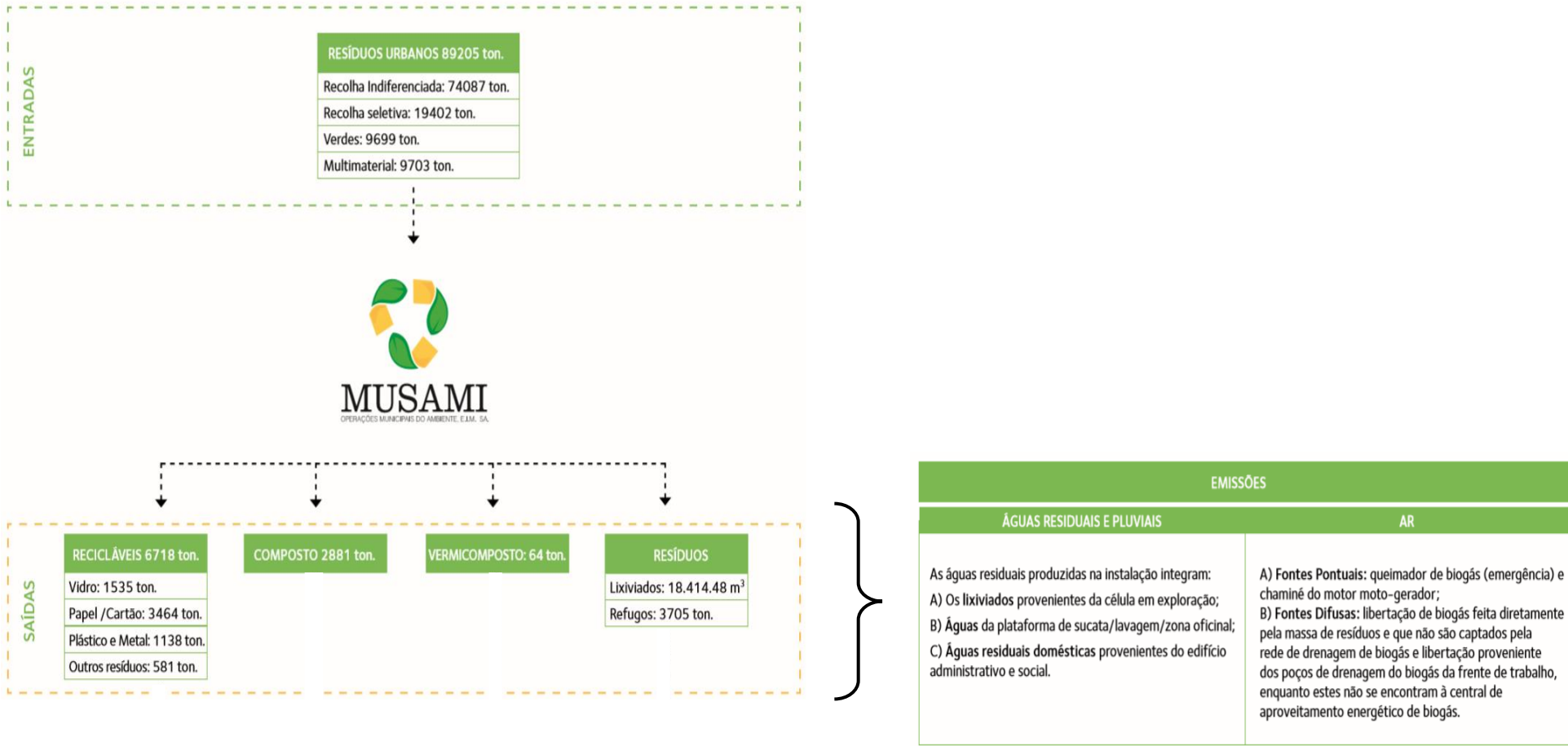
Anexo IX – Registos fotográficos das plantas de couve chinesa no final do ensaio biológico (19/Junho/2019).

Anexo X – Valores máximos admissíveis para os teores “totais”¹ de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe (mg/kg de matéria seca). (Fonte: DL n.º 103/2015)

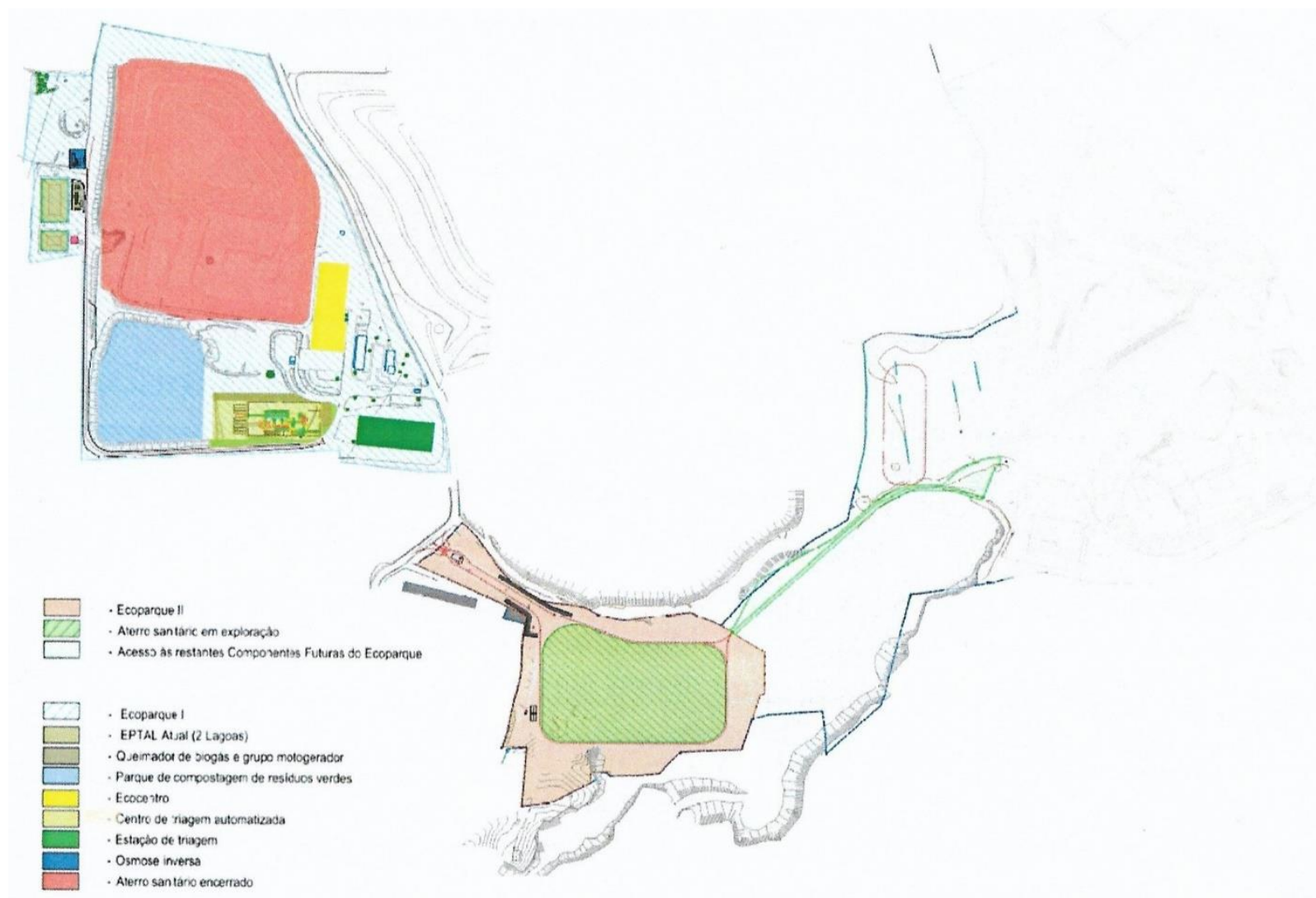
Anexo I – Entidades responsáveis pelos sistemas de gestão dos resíduos na Região Autónoma dos Açores. (Adaptado de: www.azores.gov.pt, consultado a 20/09/2019)

ENTIDADE GESTORA	FLUXO ESPECÍFICO	LICENÇA	EXTENSÃO DA LICENÇA À RAA	DATA QUE PRODUZ EFEITO
 Sogilub <small>Sociedade de Gestão Integrada de Óleos Lubrificantes Usados, Lda</small>	Óleos Minerais Usados	Despacho n.º 4383/2015, de 30 de Abril	Despacho n.º 2337/2015, de 15 de Outubro	01/10/2015
 ECOPILHAS <small>Sociedade Gestora de Resíduos de Pilhas e Acumuladores, Lda</small>	Pilhas e Acumuladores	Despacho n.º 6560/2017, de 28 de Julho	Despacho n.º 529/2018, de 2 de Abril	01/01/2018
 valorpneu	Pneus Usados	Despacho n.º 5848/2018, de 14 de Junho	Despacho n.º 2183/2018, de 21 de Dezembro	01/07/2018
	Pilhas e Acumuladores	Despacho n.º 11275-D/2017, de 22 de Dezembro	Despacho n.º 1186/2018, de 20 de Julho	01/01/2018
	Equipamentos Elétricos e Eletrónicos	Despacho n.º 5257/2018, de 16 de Maio	Despacho n.º 1406/2018, de 10 de Agosto	01/07/2018
	Embalagens e Resíduos de Embalagens	Despacho n.º 6907/2017, de 26 de Julho	Despacho n.º 2613/2017, de 31 de Outubro	01/01/2018
	Pilhas e Acumuladores	Despacho n.º 11275-A/2017, de 19 de Dezembro	Despacho n.º 835/2018, de 30 de Maio	01/01/2018
	Equipamentos Elétricos e Eletrónicos	Despacho n.º 5258/2018, de 16 de Maio	Despacho n.º 1407/2018, de 10 de Agosto	01/07/2018
 sociedade pontoverde	Embalagens e Resíduos de Embalagens	Despacho n.º 14202-E/2016, de 25 de Novembro	Despacho n.º 68/2017, de 4 de Janeiro	01/01/2017
 VALORMED	Resíduos de Embalagens e Medicamentos	Despacho n.º 9592/2015, de 24 de Agosto	Despacho n.º 719/2019, de 20 de Maio	21/05/2019
 valorfito	Embalagens de Produtos Fitofarmacêuticos	Despacho n.º 6560/2017, de 28 de Julho	Despacho n.º 2591/2017, de 25 de Outubro	01/01/2018
 NOVO VERDE <small>ENTIDADE GESTORA DE RESÍDUOS DE EMBALAGENS</small>	Resíduos de Embalagens	Despacho n.º 1402-D/2016, de 25 de Novembro	Despacho n.º 2960/2016, de 26 de Dezembro	01/01/2017
 GVB <small>Gestão e Valorização de Baterias, Lda</small>	Baterias e Acumuladores	Despacho n.º 11275-E/2017, de 22 de Dezembro	Despacho n.º 689/2018, de 02 de Maio	01/01/2016
 valorcar	Veículos em Fim de Vida	Despacho n.º 2178-A/2018, de 28 de Fevereiro	Despacho n.º 836/2018, de 30 de Maio	01/01/2018
	Baterias e Acumuladores	Despacho n.º 11275-C/2017, de 22 de Dezembro	Despacho n.º 837/2018, de 30 de Maio	01/01/2018
WEEECYCLE	Equipamentos Elétricos e Eletrónicos	Despacho n.º 5256/2018, de 16 de Maio	Despacho n.º 1813/2018, de 12 de Outubro	01/07/2018

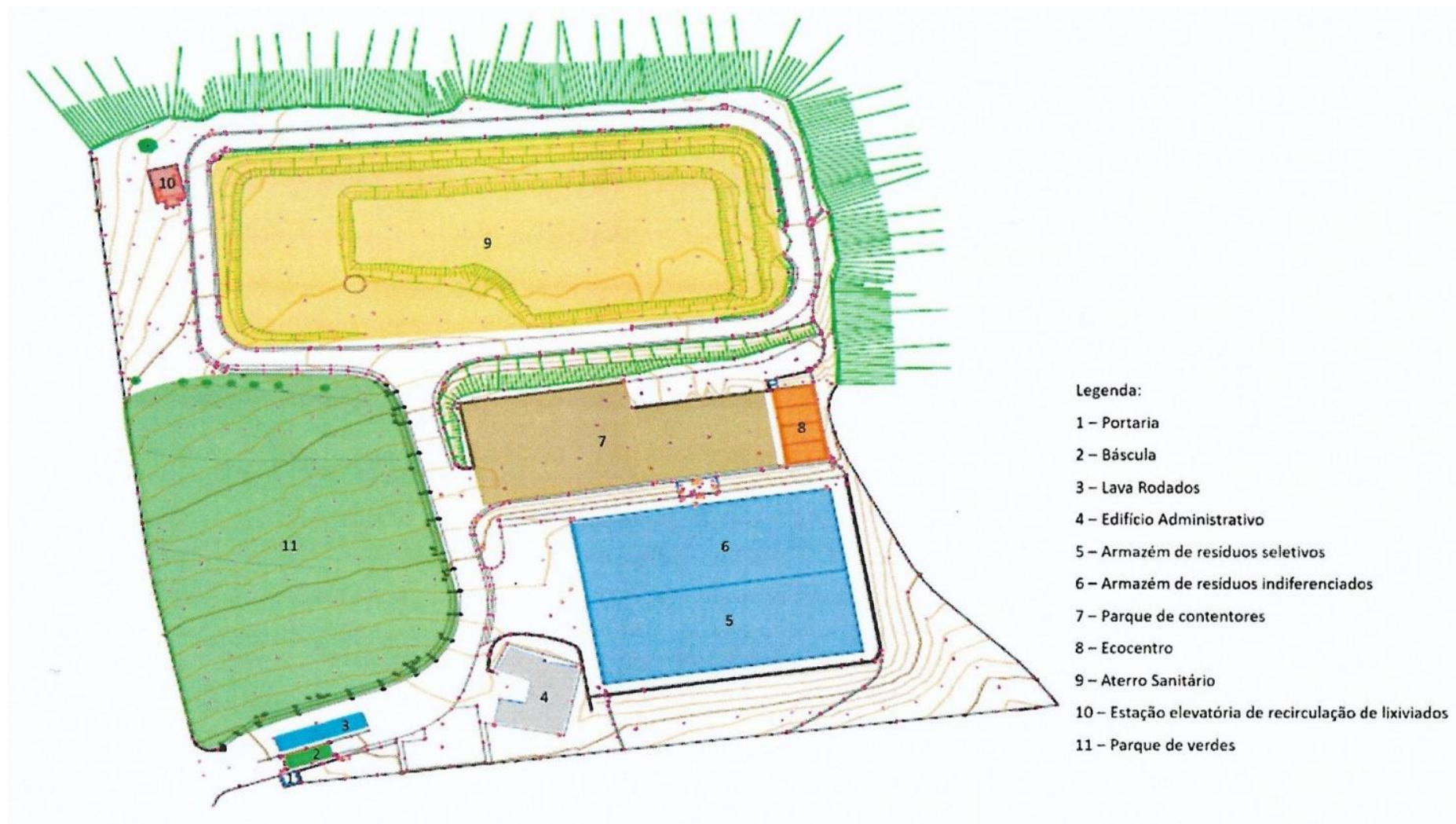
Anexo II – Representação esquemática dos fluxos ambientais da MUSAMI em 2018. (Adaptado de: MUSAMI, 2019)



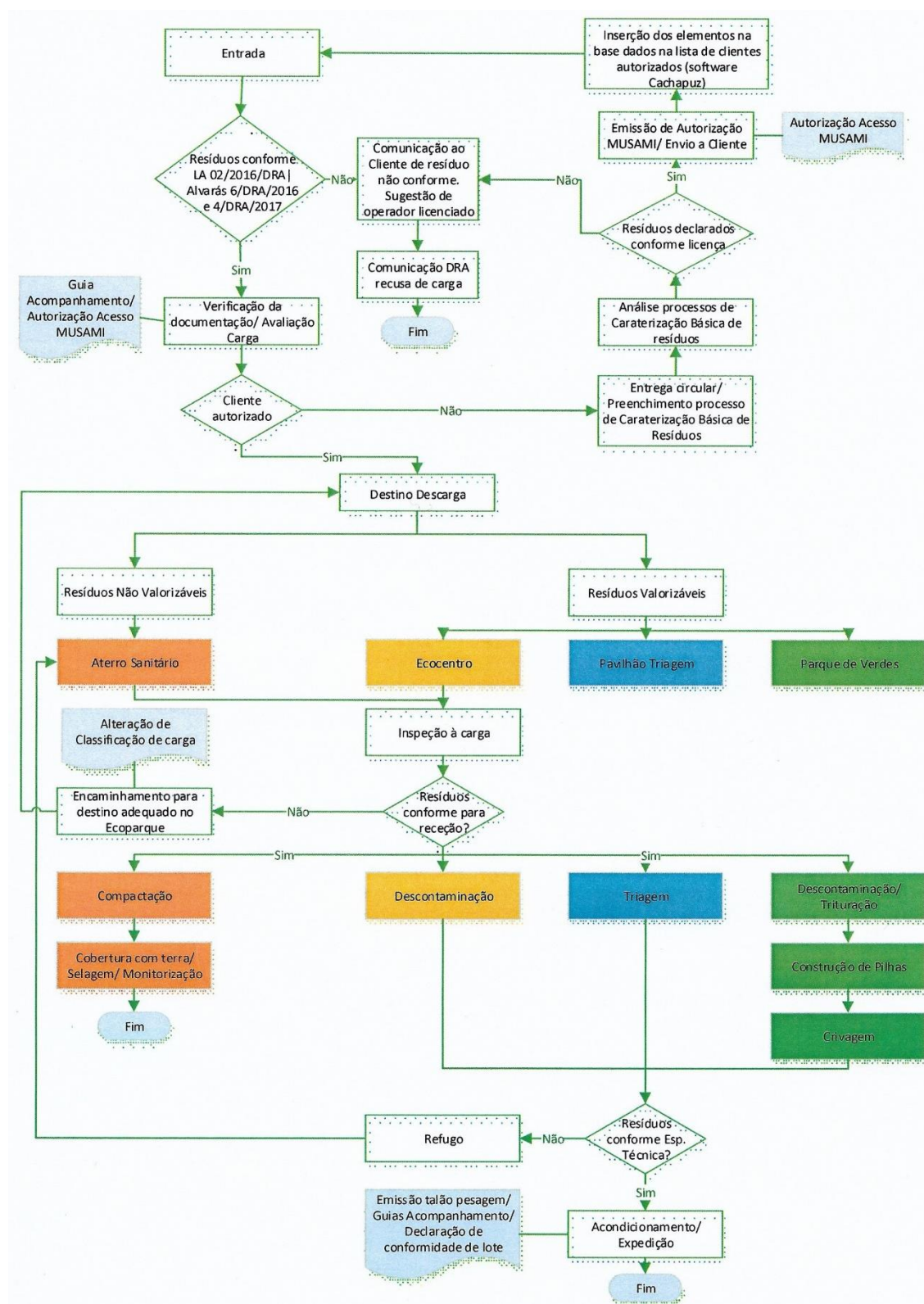
Anexo III – Lay-out dos Ecoparques I e II da Ilha de São Miguel. (Fonte: MUSAMI, 2019)



Anexo IV – Lay-out do Ecoparque III da Ilha de São Miguel. (Fonte: MUSAMI, 2019)



Anexo V – Fluxograma da operacionalidade inerente à gestão de resíduos na empresa MUSAMI.
(Fonte: MUSAMI, 2019)



Anexo VI – Tabela-resumo dos parâmetros analisados na fase de caracterização do composto (SO-MUSAMI) e respectivos métodos de referência utilizados em laboratório.

PARÂMETROS ANALISADOS	MÉTODOS DE REFERÊNCIA UTILIZADOS	
	EXTRAÇÃO	LEITURA
Teor de humidade	EN 13040:1999	
pH	EN 13037:1999	
CE	EN 13038:1999	
Granulometria e materiais inertes	<i>Methods Book for the Analysis of Compost (2002) Federal Compost Quality Assurance Organisation (FCQAO), Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK) pp. 44-47</i>	
Matéria orgânica	EN 13039:1999	
Nt (reportado à matéria seca)	EN 13654-1:2001	
N-NH ₄ ⁺ (reportado à matéria seca)	EN 13652:2001 (extração com água desionizada)	ISO 5664:1984
N-NO ₃ ⁻ (reportado à matéria seca)		Método Clássico
COT	Tinsley	
Relação C/N	COT/Nt	
Ácidos húmicos	Método italiano de extração com pirofosfato de sódio por titulação ⁽ⁱ⁾	
Ácidos fúlvicos		
Taxa de humificação	Métodos propostos por Roletto <i>et al.</i> (1985) e Saviozzi <i>et al.</i> (1988)	
Índice de humificação		
Elementos minerais	EN 13650:2001 (extração com água régia)	Leituras por ICP segundo a ISO 11885:1998
Teste de auto-aquecimento	Gutezeichen Kompost RAL-GZ 251 (1992)	
AT ₄	Adaptação do método DIN 19737 para a determinação da atividade respiratória em solos	
Avaliação da capacidade de germinação de sementes e propágulos infestantes	ONORM S 2023 disponibilizado em <i>Analytic Methods and Quality Control of Compost (Austrian Standards Institute, 1996)</i>	

Legenda: CE – Condutividade elétrica; COT – Carbono orgânico total; Nt – Azoto total; N-NH₄⁺ – Azoto amoniacal; N-NO₃⁻ – Azoto nítrico;

AT₄ – Teste respirométrico (atividade respiratória ao fim de 4 dias); ICP – Espectrofotometria de emissão de plasma

⁽ⁱ⁾ Conforme indicado no Decreto-Lei n.º 103/2015

Anexo VII – Composição da solução nutritiva, exigida pela Norma EN 16086-1:2011, para suprir possíveis carências nutricionais. (Fonte: Norma Europeia EN 16086-1:2011)

Nitrato de amónia [NH_4NO_3]

Nitrato de cálcio tetra hidratado [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$]

Nitrato de potássio [KNO_3]

Fosfato monopotássico [KH_2PO_4]

Sulfato de magnésio hepta hidratado [$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$]

Nitrato de magnésio hexa hidratado [$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$]

Quilato de ferro [Fe – DTPA (7% Fe)]

Sulfato de manganês hidratado [$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$]

Sulfato de zinco hepta hidratado [$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$]

Bórax [$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$]

Sulfato de cobre penta hidratado [$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$]

Molibdato de sódio [$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$]

Ácido nítrico [HNO_3], 1M

Anexo VIII – Número de sementes germinadas, por vaso, no final do ensaio biológico (fase de corte), ou seja, o número de plantas que se desenvolveram ao longo do ensaio.

		Triplicados			N.º médio de sementes germinadas por vaso	
		A	b	c		
TRATAMENTOS	Ensaio de controle (brancos)	EB 0	10	13	14	12,33
		EB 8	16	19	15	16,67
		EB 16	18	18	18	18,00
		EB 24	14	15	17	15,33
	Ensaio com composto	EB 8 25:75	18	19	19	18,67
		EB 8 50:50	19	17	18	18,00
		EB 16 25:75	18	20	20	19,33
		EB 16 50:50	17	18	17	17,33
		EB 24 25:75	18	19	17	18,00
		EB 24 50:50	20	19	18	19,00

Anexo IX – Registos fotográficos das plantas de couve chinesa no final do ensaio biológico (19/Junho/2019).

- EBO (ensaio de controle):



- EB8 (ensaio de controle):



- EB16 (ensaio de controle):



- EB24 (ensaio de controle):



- EB8 25:75 (v/v) de composto/turfa:



- EB8 50:50 (v/v) de composto/turfa:



- EB16 25:75 (v/v) de composto/turfa:



- EB16 50:50 (v/v) de composto/turfa:



- EB24 25:75 (v/v) de composto/turfa:



- EB24 50:50 (v/v) de composto/turfa:



Anexo X – Valores máximos admissíveis para os teores “totais”¹ de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe (mg/kg de matéria seca). (Fonte: DL n.º 103/2015)

Parâmetro	Matéria fertilizante			
	Classe I	Classe II	Classe II A	Classe III
Cádmio (<i>Cd</i>)	0,7	1,5	3	5,0
Chumbo (<i>Pb</i>)	100	150	300	500
Cobre (<i>Cu</i>)	100	200	400	600
Crómio (<i>Cr</i>)	100	150	300	400
Mercúrio (<i>Hg</i>)	0,7	1,5	3	5,0
Níquel (<i>Ni</i>)	50	100	200	200
Zinco (<i>Zn</i>)	200	500	1000	1500

¹Nota: Os teores “totais” correspondem à fração solúvel em água-régia.